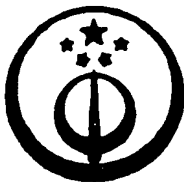


[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

G01F 1/84



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 95195442.3

[43]公开日 1997年11月26日

[11] 公开号 CN 1166199A

[22]申请日 95.7.24

[30]优先权

[32]94.8.12 [33]US[31]08/289,413

[86]国际申请 PCT/US95/09324 95.7.24

[87]国际公布 WO96/05484 英 96.2.22

[85]进入国家阶段日期 97.4.2

[71]申请人 微动公司

地址 美国科罗拉多州

[72]发明人 B·L·卡本特 A·X·路纳

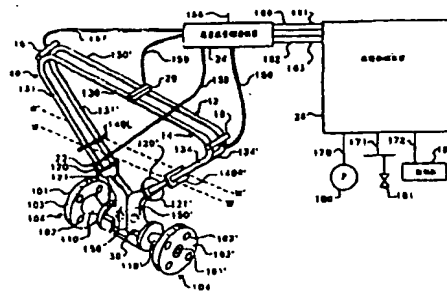
[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
代理人 王 勇 张志隆

权利要求书 3 页 说明书 27 页 附图页数 11 页

[54]发明名称 用于科里奥利效应质量流量计中的故障检测和校正的方法和装置

## [57]摘要

一种用于在科里奥利效应质量流量计工作时检测和校正各种故障情况的装置和方法。本发明接收来自工作中的科里奥利质量流量计的信息并将该信息与代表各种故障状态的阈值标志相比较。当检测到故障状态时,提供输出信号,通知控制人员并控制流经流量计的质量流量,以便校正故障状态。本发明的一些特定方法检测在流量管中裂缝的存在并中止物料的流动,以防止物料经过有裂缝的流体管漏出。本发明的其它方法检测流经流量管中的物料的空隙百分率,计算经校正的实际质量流量,以及控制通过流量计的质量流量,对空隙百分率的影响进行补偿。



## 权 利 要 求 书

1.一种用于检测科里奥利效应质量流量计 ( 10 )的工作状态变化的方法, 其特征在于, 所述方法包含的步骤有:

5 测定由当前工作参数、所述当前工作参数变化斜率以及所述斜率的变化曲率 ( 900、 904 ) 构成的组中选择的代表所述流量计的当前工作状态的至少一个数值;

测定所述至少一个数值是否已经偏离标称值一个预定的量 ( 906、 908、 910 );

10 根据所述测定出所述至少一个数值已经偏离标称值一个预定的量 ( 906、 908、 910 ) 产生一代表所述至少一个数值出现所述变化的一个输出信号; 以及

将所述输出信号提供给一个通用装置, 用以进行包括校正所述流量计中的所述异常状态的操作 ( 906、 908、 910 ) .

15 2.如权利要求 1 所述的方法, 其中将所述输出信号提供到通用装置的所述步骤包含控制与所述流量计相关连的泵 ( 180 ), 以改变流经所述流量计的物料的质量流率.

3.如权利要求 1 所述的方法, 其中将所述输出信号提供到所述通用装置的所述步骤包含控制与所述流量计相关连的阀 ( 181 ) 以便改变流经所述流量计的物料的流率.

20 4.如权利要求 1 所述的方法, 其中:

所述振动频率的所述斜率的所述标称值大于或约等于零 ( 1302 );

所述驱动功率的所述斜率的所述标称值小于或约等于零 ( 1300 );

所述振动频率的所述曲率的所述标称值大于或约等于零 ( 1306 );

所述驱动功率的所述曲率的所述标称值小于或约等于零 ( 1308 );

25 以及

所述输出信号代表在所述流量计中的所述流量管中出现裂缝 ( 1312、 1314、 1316 ) .

30 5.如权利要求 4 所述的方法, 其中将所述输出信号提供到所述通用装置的所述步骤包括控制与所述流量计相关连的泵 ( 180 ) 以便中止流经所述流量计的物料 ( 1312 ) .

6.如权利要求 4 所述的方法, 其中将所述输出信号提供到所述通用

装置的所述步骤包含控制与所述流量计相关连的阀（181），以便中止流经所述流量计的物料（1314）。

7.如权利要求1所述的方法，其中：

所述振动频率的所述斜率的所述标称值大于或等于零（1504）；

所述驱动功率的所述斜率的所述标称值是零（1504）；

所述振动频率的所述曲率的所述标称值小于或等于零（1506）；

以及

所述输出信号代表在所述流量计中的所述流量管中流动的物料出现不能容许的密度变化（1512、1514、1516）。

8.如权利要求1所述的方法，其中：

所述振动频率的所述斜率的所述标称值小于或等于零（1504）；

所述驱动功率的所述斜率的所述标称值小于或等于零（1504）；

所述振动频率的所述曲率的所述标称值是零（1506）；

所述驱动功率的所述曲率的所述标称值小于或等于零（1506）；

以及

所述输出信号代表在所述流量计的所述流量管中流动的物料出现不能容许的空隙百分率（1512、1514、1516）。

9.如权利要求1所述的方法，其中：

所述振动频率的所述斜率的所述标称值大于或等于零（1504）；

所述驱动功率的所述斜率的所述标称值小于或等于零（1504）；

所述振动频率的所述曲率的所述标称值是零（1506）；

所述驱动功率的所述曲率的所述标称值是零（1506）；

所述输出信号代表在所述流量计中的所述流量管中流动的物料出现不能容许的物质成分（1512、1514、1516）。

10.如权利要求1所述的方法，包含的步骤有：

测定作为所述至少一个工作参数的函数的、流经所述流量管的物料的空隙百分率数值（1400）；

测定作为所述当前测量的质量流率和所述空隙百分率数值的函数的误差校正系数（1402）；

利用所述当前测量的质量流率和所述误差校正系数测定经校正的质量流率（1404）；以及

将与所述经校正的质量流率和所述当前测量的质量流率之间的差

成比例的输出信号提供到通用装置，用以改变流经所述流量计的物料的流率（1406、1408、1410、1412、1414）。

5 11.如权利要求10所述的方法，其中测定所述空隙百分率数值的所述步骤还包含在一个数值表中进行内插，以便测定作为所述当前振动频率的函数的所述空隙百分率。

12.如权利要求10所述的方法，其中测定所述空隙百分率数值的所述步骤还包含在一个数值表中进行内插，以便测定作为所述当前驱动功率的函数的所述空隙百分率。

10 13.如权利要求10所述的方法，其中测定所述误差校正系数的所述步骤包含在一个表中进行内插，以便作为当前测量的质量流率和所述空隙百分率数值的函数测定所述误差校正系数。

14.一种用于检测在科里奥利效应质量流量计（10）中故障情况的装置，其特征在于，所述装置还包含：

15 连接到所述流量计上的输入装置，用于接收关于所述流量计的当前工作参数的信息（160 - 163，203 - 206）；

存储器装置，用于存储关于所述当前工作参数的一种故障情况的故障标志信息（201，202）；

输出装置，用于表示在所述流量计工作时出现所述故障情况（180，181，182）；以及

20 检测装置，连接到所述输入装置、所述输出装置和所述存储装置，用于将所述当前工作参数和所述故障标志信息相比较，以检测所述故障情况的产生以及将信号提供到所述输出装置，表示产生所述故障情况（200）。

## 说明书

### 用于科里奥利效应质量流量计中的 故障检测和校正的方法和装置

5 本发明涉及用于测量通过管道系统的物料流量的科里奥利效应质量流量计。确切地说，本发明涉及在科里奥利质量流量计工作中可能产生的各种故障情况的检测和校正。

众所周知利用科里奥利效应质量流量计可测量质量流量以及其它与流经管道系统的物料的其他信息。正如在 1985 年 1 月 1 日授予 J. E. Smith 等人的序号为 4491025 的美国专利及在 1982 年 2 月 11 日授予 J. E. Smith 的 Re 31450 中所公开的，这些流量计具有一或多个呈弯曲形状结构的流体管。具有直流量管的科里奥利质量流量计也是公知的，如在 1978 年 8 月 29 日也是授权给 J. E. Smith 等人的序号为 4109524 的美国专利所表示的。科里奥利质量流量计中的各种流量管结构具有几种固有的振动模式，可以是简单弯曲型、扭曲型或耦合类型的。每种流量管被驱动，按照这些固有模式中的一种谐振模式振动。振动的加注物料系统的固有振荡模式部分地是由流量管和流量管内的物料的综合质量所决定的。由在流量计的入口侧连接的管道进入流量计的物料流被引导经过一或多个流量管并由流量计流出到在其外侧相连的管道中。

20 当没有流体通过流量计时，沿该流量管的所有各点由于所施加的驱动力产生同相振动。当物料开始流动时，科里奥利加速作用使沿流量管的各点具有不同的相位。在流量管入口侧的相位滞后于驱动器，出口侧的相位超前于驱动器。将传感器置于流量管上以便产生表示流量管运动的正弦信号。两个传感器信号之间的相位差与通过流量管的物料的质量流量成正比。

25 这种测量方式中的一个复杂因素在于通常处理的物料的密度是变化的。密度的变化引起固有振动模式的频率变化。由于流量计的控制系统维持谐振，振动频率随之变化。在这种情况下，质量流量与相位差和振动频率之比成比例。

30 序号为 Re 31450 的美国专利中的科里奥利流量计不需要测量相位差和振动频率。通过测量由流量计输出的两个正弦输出信号的电平相交点之间的时间延迟确定该相位差。当采用这种方法时，消除了振动频率

的偏差，质量流量与所测量的时间延迟成比例。这种测量方法通常称为时间延迟测量法。

5 在科里奥利流量计的很多应用场合下，流经流量计和该流量管的物料可能是腐蚀性的或处于高压之下。这种质量流量计的流量管中的裂缝可能漏出腐蚀性的材料。在这些应用场合下，重要的是要使物料泄漏的可能性降到最低。使这种危险降低的一种方法是将流量计封装起来，以便容纳在流量管中的总体压力下降情况下有可能逸出的物料。根据所用的材料和工作的压力值，这种办法存在很多附带的问题。将盛有腐蚀性物料或盛有很高压力的物料的流量管包封起来的复杂性和费用可能限制科里奥利效应质量流量计在很多场合的应用。

15 与其试图在故障情况下将流量管包封起来，不如最好在流体可能漏到周围环境之前先检测到故障状态。这种故障的早期检测使得在产生泄漏之前就中止物料的流动。解决这一问题其它方法是监测由振动的管道发出的声波（发射声谱）或测量流量管电阻的变化（电子示踪法）。这两种方法可以检测在流量管中的裂缝，然而，它们对于诸如腐蚀性等流量管表面特性同样是敏感的。利用这些方法，为了区分裂缝与其它表面状态需要灵敏的电子测量装置和对测量结果的技术性很强的判别。这种测量装置的复杂性使得这些方法很少用于流量计的实际商业应用。

20 当空气或其它外部物质渗入流经科里奥利效应质量流量计的物料时，现有技术装置还出现另一个问题。这些物质改变了流量计流量管的振动特性，使得所计算的质量流量产生误差。现有技术装置既不检测也不校正质量流量测量过程中的这些误差。

25 利用本发明解决了上述问题以及其它问题，本发明包含用于检测工作中的科里奥利效应质量流量计中的各种故障情况，以及用于校正这些测得的故障的方法和装置。本发明提供对于流量管中的裂缝足够早地进行检测，使得在流动的物料漏入周围环境之前就能中止物料的流动。此外，本发明能够早期检测和校正与流动中的物料有关的其它情况，这些情况可以代表其它类型的系统故障。超出阈值限值之外的所计算的质量流量、物料密度、空隙百分率或质量百分率的变化都可能表示质量流量计在某些应用场合下的系统故障。本发明包含的方法和装置用于监测科里奥利效应质量流量计的工作，使得能够早期检测流量管中的裂缝或上述系统故障。另外，本发明包含的方法和装置用于控制在流量计内的物

料流动，以校正检测到的故障或停止物料的流动，防止流动的物料的危害漏出。

在正常工作的流量计中，在静止状态下，振动流量管所需的驱动功率和形成的流量管的谐振频率是不变的。所需驱动功率或振动的流量管的谐振频率的变化代表工作情况下流量计中的状态变化。利用本发明的方法和装置分析驱动功率和谐振频率的变化，以便检测在流量管中的裂缝或其它工作异常。利用本发明可检测的每一种故障呈现一个随驱动功率和/或谐振频率的时间变化的特征“标志”。例如，流量管中物料的质量流量变化可能引起流量管谐振频率的变化，而所需的驱动功率没有明显的变化。不过，伴随所需驱动功率增加，流量管的谐振频率的突然降低则表明在流量管中有裂缝。工作状态的其它变化在流量计的工作参数方面表现出类似的可识别“标志”，并且可由本发明检测作为运行故障或异常的依据。该“标志”是根据驱动功率和频率的阈值以及随着时间的变化的速率和曲线（关于时间的一阶和二阶导数）来定义的。

本发明包含的装置用于检测科里奥利效应质量流量计的某些工作参数，包括振动流体管道所需的驱动功率以及响应于所加的驱动功率管道振动的谐振频率。本发明的装置还包含用于通知控制人员在流量计工作时出现特定故障情况以及用于自动调节或中止物料经过流量计的流动的输出信号。后者的这些输出信号用于控制与流量计中物料流动相关联的泵和阀。

本发明还包含确定所检测的工作参数随时间的变化的方法。这些方法确定某些所检测的工作参数的瞬时值以及每个所测的工作参数的变化速率（斜率和曲率）。这些方法分析所检测的工作参数的现时值和变化，以便确定正在发生的特定故障情况。由在所检测的工作参数的数值和变化方面特有的“标志”来识别可用本发明检测的每种故障状态。本发明的装置中存有代表各种不同故障状态的工作参数的标志数值。就监测的工作参数的数值和变化与所存储的这些标志相一致而言，由本发明的装置产生上述输出信号，以表明产生相应的故障状态或控制通过流量计的物料流量。

特别是本发明能检测在科里奥利流量计中流量管中裂缝的存在。利用振动的流量管的谐振频率“标志”降低结合振动流量管所需驱动功率的增加识别裂缝的存在。裂缝故障的这种早期检测使得控制人员或者控

制电路中止物料流动或者降低在流量管中的压力以便防止在流量计中流动物料的有害泄漏。

本发明还能识别一些工作状态，这些状态可以代表在某些流量计应用场合下的故障，如质量流量变化、物料密度变化、空隙百分率变化和物质成分变化。例如，谐振频率的增加结合驱动功率的增加表示流量计中流动物料的空隙百分率的增加。在某些应用中，这可以理解为这样一种故障状态，例如表示在流动物料中正在形成过量的空气泡或空隙，或者传感器的输出有错。本发明装置所产生的输出信号用于警告控制人员，或者自动中止物料流动或者自动调节管内流动物料的混合。提供另外的输出信号，用以自动调节物料的流率，以便使由于空隙百分率的增加造成的误差降至最小。

除了检测故障情况之外，本发明的方法和装置考虑到在流动的材料中的空隙百分率或物质成分自动校正正在工作的流量计中所测量的流量。存储在本发明装置内的信息用于计算空隙百分率，它作为振动频率和驱动功率测量值及所计算的变化速率的函数。于是，这样计算的空隙百分率结合所测的流量被用于计算误差百分值。将该误差百分值应用于所测的质量流率，以便计算经校正的质量流率，后者如上述那样用于对控制人员显示或进行流量自动控制。

总之，本发明提供的方法和装置能早期检测操作中的科里奥利效应质量流量计中的各种故障情况。本发明进行的故障检测和校正与先前的方法或装置相比提高了可靠性并降低了复杂性。本发明还提供了根据测量的流率和计算的空隙百分率能自动校正质量流率的方法和装置。

图 1 表示利用本发明故障检测装置的典型科里奥利效应质量流量计；

图 1A 表示按照典型的闭路控制使用结构，图 1 所示的科里奥利效应质量流量计与一可控泵和一可控阀相连；

图 2 表示本发明的故障检测仪器的附加元件；

图 3 是一曲线图，表示由于流量管中出现破裂，频率和驱动功率作为时间函数曲线的特征标志；

图 4 是一曲线图，表示作为流量管中质量流量函数的频率和驱动功率曲线的特征标志；

图 5 是一曲线图，表示作为流量管内部流动的物料密度函数的频率



和驱动功率曲线的特征标志;

图 6 是一曲线图, 表示作为流量管内流动物料的空隙百分率或迟滞流动函数的频率和驱动功率曲线的特征标志;

图 7 是一曲线图, 表示作为流量管内流动物料的物质成分函数的频率和驱动功率曲线的特征标志;

图 8 是一曲线图, 表示加于所测量的质量流量的百分误差, 以便计算经校正的质量流量;

图 9 是表示包含本发明方法步骤的总览流程图;

图 10 是表示图 9 中的步骤针对工作参数采样附加细节的流程图;

图 11 是表示图 9 中的步骤针对存储经采样的工作参数附加细节的流程图;

图 12 是表示图 9 中的步骤针对计算所存工作参数中的变化斜率和曲率附加细节的流程图;

图 13 是表示图 9 中的步骤针对对破裂的流量管的测试和相应地中止物料流动附加细节的流程图;

图 14 是表示图 9 中的步骤针对计算空隙百分率应校正的质量流量以及相应地调节物料流动附加细节的流程图;

图 15 是表示图 9 中的步骤、针对对其它工作故障情况的测试以及相应控制质量流量附加细节的流程图。

## 20 装置

图 1 表示一种典型的科里奥利效应质量流量计 10, 图中示有两个以悬臂梁式安装固定到复式接头本体 30 上的流体管道 12、14, 它们具有基本相同的弹性常数和关于它们各自的异相弯曲轴线  $W-W$  和  $W'-W'$  的惯性矩。

一个驱动线圈和磁铁 20 安装在流体管道 12、14 的顶部 130 和 130' 之间的中点区, 以便关于轴线  $W-W$  和  $W'-W'$  按异相方式振动流量管 12、14。左传感器 16 和右传感器 8 安装在流量管 12、14 顶部各自端部附近, 以便检测流量管 12、14 的相对运动。这种检测可以按很多方式实现, 包括通过测量流量管 12、14 的顶端经过它们的过零点或某些其它预定点的运动。流量管 12 和 14 具有左侧支管 131 和 131' 以及右侧支管 134 和 134'。各侧面支管向下彼此收拢并固定到复式接头元件 121 和 121' 的表面 120 和 120' 上。支撑件 140R 和 140L 焊接到流量管 12

- 14 的支管上, 用以限定轴线  $W - W$  和  $W' - W'$ , 当沿通道 156 激励驱动器 20 时, 二流量管关于该二轴线异相振动. 轴线  $W - W$  和  $W' - W'$  的位置由在流量管侧支管 131、131' 和 134、134' 上的支撑件 140R 和 140L 的位移决定.

5 温度检测器 22 安装在流量管 14 的侧支管 131 上, 以便测量流量管的温度以及其中流动物料的近似温度. 这一温度信息用于测定流量管弹性常数的变化. 驱动器 20、传感器 16 和 18 以及温度检测器 22 经过通道 157、158 和 159 连接到质量流量测量仪器 24. 质量流量测量仪器 24 可包括一微处理器, 处理从传感器 16、18 和 22 接收的信号, 以便  
10 测定流经流量计 10 的物料的质量流量以及其它测量量; 例如物料密度和温度. 质量流量测量仪器 24 还沿通道 156 向驱动器 20 提供驱动信号, 以使流量管 12 和 14 关于轴线  $W - W$  和  $W' - W'$  异相振动.

复式接头主体 30 由壳体 150、150' 构成. 壳体元件 150、150' 经过法兰 103、103' 可与输入导管和输出导管 (未表示) 相连接. 复式接  
15 头主体 30 将来自输入导管的物料流转向流量管 12、14, 然后返回到输出导管. 当复式接头法兰 103 和 103' 经过入口端 104 和出口端 104' 连接到导管系统 (未表示) 上时, 传输需测量的生产过程的物料, 该物料经过在法兰 103 中的输入孔口 101 输入到复式接头主体 30 和复式接头  
20 元件 110, 并利用壳体元件 150 中截面逐渐变化的通道 (未表示) 流入该流量管 12、14. 由复式接头元件 121 将物料分开并分别按选定的通路被送入流量管 14 和 12 中的左支管 131 和 131'. 随后物料流经流量管的顶部 130、130', 并通过右侧支管 134 和 134', 然后重新汇合成单一料流进入流量管复式接头元件 121'. 该料流在此之后沿一出口壳体元件  
25 150' 中的通道 (未表示) 行进, 然后流出复式接头元件 110'. 出口端 104' 利用具有螺孔 102' 的法兰 103' 连接到导管系统 (未表示). 物料经过输出孔口 101' 返回在导管系统 (未表示) 中流动.

质量流量测量仪器 24 分析沿通道 157、158 和 159 接收的信号, 产生沿通道 155 的基准输出信号, 以便告之控制系统或控制人员所采用的质量流量用于监测和控制通过相关导管系统 (未表示) 的质量流量.  
30 此外, 质量流量测量仪器 24 沿通道 160、161、162、163 产生输出信号, 分别表示当时的流量管谐振频率, 当时驱动流量管所需的驱动功率, 当时的流量管温度以及所计算的质量流量. 这些信号由故障检测仪

器 26 所接收并预分析, 以确定流量计 10 工作过程中产生的故障。以下从总体上以及就每个而言都将这些信号 (以及流量计 10 工作过程中可以检测的其它信号) 称为“工作参数”。

质量流量测量仪器 24 可包含已有技术中公知的常规装置和方法。

5 一种 Micromotion Remote Flow Transmitter (微动式遥测流量发送器) (型号 9739) 是这种装置的一个实例。虽然, 表示驱动功率的信号通常不是做为 9739 型装置的输出信号而提供的, 但本领域的熟练人员会易于认识到, 这样一种信号是可以由 9739 型装置得到的。频率信号一般可以由 9739 型装置得到, 因为该设计是能测量流体密度的。一个电  
10 子技术人员能够易于将这样一种装置进行改进, 以便提供表示流量管振动频率的适用信号和提供向由连接到故障检测仪器 26 上的仪器引出的导体所需的驱动功率。

根据对故障情况的检测结果, 故障检测仪器 26 经过通道 170 向泵 180 提供信号, 以及经过通道 171 向阀 181 提供信号, 以便校正通过流  
15 量计 10 的质量流量或中止物料流动以防物料漏出。由故障检测仪器 26 控制泵 180, 增加或降低在流量计 10 的输入孔口 101 处的压力, 校正检测到的异常。由故障检测仪器 26 控制阀 181, 增减在流量计 10 的输出孔口 101' 的背压, 校正检测到的误差。故障检测仪器 26 还沿通道 172  
20 提供信号, 以便通知控制人员在流量计 10 的工作过程中检测到的故障状态的发生情况。加给通道 172 的信号是在控制板 182 上显示的信息, 以便通知控制人员需要进行手动校正操作或通知控制人员由故障检测仪器 26 进行的校正控制的状态。

例如, 故障检测仪器 26 通过分析分别由通道 160 和 161 接收的谐振频率和驱动功率信息测定流量管中是否存在裂缝。如果在流量管中存  
25 在裂缝, 故障检测仪器 26 沿通道 170 产生输出信号, 降低在流量计 10 的输入孔口 101 处由泵 180 产生的压力。这样在裂缝导致整体压力消失之前就将通过流量管的物料流动减慢或中止, 从而防止在流量管 12 和 14 内部的物料漏出。

图 1A 表示连有泵 180 和阀 181 的流量计 10 和故障检测仪器 26, 它们都是流量计 10 的典型应用。泵 180 由料源 191 吸取物料 192, 并  
30 将其经过管道 190 输送到流量计 10 的输入孔口 101。通过沿着线路 170 提供信号, 通过增减泵 180 的速度来由故障检测仪器 26 控制由泵 180

形成的入口压力。输送到流量计 10 输入孔口 101 的物料通过该流量计移动到输出孔口 101', 进入管道 190, 最终通过阀 181 达到其指定地。通过沿通道 171 提供信号以开闭阀 181, 由故障检测仪器 26 控制阀 181 所形成的背压。

5 本技术领域的熟练人员会认识到, 本发明的方法和装置可以便利地应用到任何结构的流量计。上面关于图 1 和 1A 讨论的特定流量计结构是所有这种流量计结构的实例。具体地说, 直流量管、U 形流量管、不规则的以及其它的流量计结构都可以结合本发明的方法和装置来检测和校正工作故障情况。

10 图 2 表示故障检测仪器 26 内部的附加部分。利用模数 (A/D) 变换器 203 到 206 将图 1 中的质量流量检测仪器 24 加给通道 160 到 163 的模拟信号变换为数字值。将表示变换成的数字值的信号加给通道 220 到 223, 由 CPU200 进行处理。加给通道 220、221、222 和 223 的信号分别代表振动的流量管的当前谐振频率、当前振动流量管所需驱动功率, 流量管的当前温度以及所计算的质量流量。

15 CPU200 分别由通道 220 到 223 对代表当前的频率、驱动功率、温度和计算的质量流量的数字信号周期性地进行采样。在每次周期性采样时, CPU200 将加给通道 220 到 223 的数字值的多个读数进行平均并将该平均值沿通道 229 写入 RAM 存储器 201 中的缓冲器。这种平均有助于滤除可能在通道 160 到 163 中存在的模拟信号噪声。对于频率、驱动功率、温度和计算的质量流量的平均值以循环方式存储在 RAM 存储器 20 的缓冲器中, 使得当最先存放各存储数值的缓冲器可由最新要存储的数值进行重写。环形缓冲器包含在一个时间周期内存储的工作参数值。

20 CPU200 对每个存储的工作参数计算关于时间的一阶和二阶导数, 以便确定图 1 所示的流量计 10 的工作参数随时间的变化斜率和曲率。CPU200 沿通道 229 由 RAM 存储器 201 读出所存储的平均值。两个按时间顺序存储的平均值之间的差是一种工作参数的变化斜率 (被采样的工作参数的一阶导数)。下面介绍这种计算的一个实例, 其中  $f_0$  到  $f_N$  设为在由 CPU200 进行读出的  $N + 1$  个周期内对于流量管振动频率所存储的平均值, 而其中  $S_1$  到  $S_N$  是对于每个采样周期从  $f_0$  到  $f_N$  的数值所计

30 算的变化斜率。

$$S_1 = (f_1 - f_0)$$

或更一般地:  $S_X = (f_X - f_{X-1})$ , 其中  $X$  等于 1 到  $N$ .

两个如此计算的斜率间的差代表工作参数的曲率(被采样的工作参数的二阶导数). 下面介绍这种计算的一个实例, 其中  $S_1$  到  $S_N$  设为如上讨论的周期性存储的平均值的变化斜率, 而其中  $C_L$  到  $C_N$  是斜率  $S_1$  到  $S_N$  的计算的变化曲率.

$$C_2 = (S_2 - S_1)$$

或者更一般地:  $C_X = (S_X - S_{X-1})$ , 其中  $X = 2 \sim N$ .

ROM 存储器 202 包含利用本发明可检测的每个故障的阈值“标志”. 按“标志”存储的信息与对于工作参数当前数值的阈值以及对于工作参数变化斜率和曲率的阈值相关. 利用本发明的装置和方法对可检测的每一工作故障记录这种信息. 对于流量计的特定特性, 流经流量计的物料的通常物理性质以及流经流量计的物料的额定质量流量, 各“标志”阈值都是单值的. 这些阈值是由流量计的使用者或制造商预定的, 并且被编程存入 ROM 存储器 202. 在另一替换的示范性的实施例中, CPU200 可以将这些数值由 ROM 存储器 202 复制到 ROM 存储器 201 中, 并且与控制人员相互配合, 对于应用流量计时需要特别确定的阈值“标志”进行调节.

ROM 存储器 202 包含在制造或安装流量计 10 时预先确定的附加信息, 这些信息与考虑检测到的物料中产生空隙百分率的变化对测量的质量流量进行校正有关. 正如下面所讨论到的, 空隙百分率的增加使质量流量测量产生误差. 根据本发明的方法, 利用对作为所测量的质量流量和所计算的空隙百分率函数的误差百分值进行编码的“标志”信息可确定该误差值(误差百分值). 代表所测量的质量流量、所计算的空隙百分率和形成的误差百分值之间相互关系的“标志”信息对于特定的流量计 10 和特定的应用是独特的. 这种信息按照故障检测标志存储在 ROM 存储器 202 中. 下面讨论利用这种信息校正测量的质量流量的本发明方法.

CPU200 将所存的工作参数平均值、所计算的斜率以及所计算的斜率与从存储在 ROM 存储器 202 中的“标志”沿通道 228 读出的对应阈值相比较. 该标志信息表示对于工作参数、计算的斜率以及计算的曲率的特定阈值, 它们表示在图 1 中的流量计 10 工作时产生特定的故障情况. CPU200 将由 ROM 存储器 202 中读出的标志阈值信息与在 RAM

中对于频率、驱动功率、温度和测量的质量流量的相应平均值相比较。CPU200 还将在 ROM 存储器 202 中的标志阈值与对于各参数的计算的斜率和曲率相比较。这种比较确定是否在图 1 中的流量计 10 工作时已经产生各种故障状态中的某一种。下面进一步详细讨论适合于进行这种比较的各个方法。

CPU200 响应于故障状态的检测结果向通道 170 提供信号以控制泵 180 的速度，向通道 171 提供信号以控制阀 181 的开闭。此外，CPU200 沿通道 172 提供信号在控制板 182 上显示信息，通知控制人员关于流量计 10 的控制和工作状态。正如下面所讨论的，当 CPU200 检测到流量计 10 的流量管中有裂缝时，它控制泵 180 和阀 181，中止物料流动和减轻流量计 10 的内部压力。与之相似，CPU200 可以调节质量流量，以便对例如由于异常的质量流量、异常的物料密度、异常的空隙百分率或异常的物质成分所造成的其它异常状态进行补偿。所有这些异常状态中的每一种都利用 CPU200 通过将 ROM 存储器 202 中所存的标志阈值信息与 RAM 中所存的当前参数值相比较进行检测，并且对于上面讨论的每种参数计算其变化斜率和曲率。每种异常状态由 ROM 存储器 202 中所存的一组阈值定义。这些阈值与几个工作参数的当前数值以及这几种工作参数的变化斜率和曲率相关。

#### 标志信息采样

图 3 是一曲线图，表示当形成一个贯通流量管管壁的裂缝以及继续发展时，振动中的流量管的谐振频率和振动该流量管所需驱动功率的典型变化。图 3 中曲线的横座标是以秒计的时间。标有“压力”的曲线 300 的纵位标标度标在曲线图的左侧。这一曲线 300 代表在流量管中产生的裂缝随时间发展时，流量管内部的压力随时间变化的情况。正如由曲线图可以看出的，在流量管内部的压力如用以 312 标注的虚线所表示的在时间 180 秒之前维持恒定。由于流动的物料经过在流量管中的裂缝漏出，在这一时间点上压力开始下降。

标注“驱动功率”的曲线 301 它的纵坐标标度标在曲线图的左侧。曲线 301 表示按照谐振频率振动流量管所需的驱动功率。标有“频率”的曲线 302 的纵坐标标度标在曲线图的右侧。曲线 302 表示振动中的流量管谐振频率的变化。如标注为 310 的虚线所示，随着裂缝开始产生，发展经过约 80 秒，驱动功率和频率维持相对恒定。在这一时间点上，

频率曲线 302 开始下降，而驱动功率曲线 301 开始增加。在用 310 标注的 80 秒的时间点，通过使该频率下降和驱动功率上升与 ROM 存储器 202 中所存的适当标志信息相配合，CPU200 可以确定在流量管中的裂缝在发展。如在曲线 301 处所呈现的所需驱动功率的非线性增加，以及在曲线 302 处所呈现的谐振频率的非线性降低都是如图 1 所示的一种流量计中的流量管中裂缝发展的标志特征。正如由图 3 的曲线 300、301 和 302 中的关系变化可以看出的，一到时间 80 秒（标注 310）本发明的方法就能检测流量管 12 或 14 中裂缝的形成，如在时间 180 秒处用 312 标注的直线表示的，在流量管 12 或 14 内部压力下降很早之前就完成检测。

在图 3 中表示的并如上面讨论的，形成裂缝故障的工作参数中的标志变化明显地不同于与物料的质量流量变化相对应的正常工作参数（如图 4 所示）。图 4 表示正常响应于经过流量计的物料质量流量变化的流量计的工作参数中的标志变化。图 4 中的曲线图中的横坐标是流经如图 1 中的一种流量计的流量管的物料的质量流量。标注“驱动功率”的曲线 401 的纵坐标标度标在曲线图的左侧。这一曲线 401 表示按照谐振频率振动流量管所需的驱动功率。标注“频率”的曲线 402 的纵坐标标度标在曲线图的右侧。这一曲线 402 表示振动中的流量管的谐振频率的变化。如由图 4 中的曲线所示，按照正常的工作参数，当质量流量增加时驱动功率维持不变，但当质量流量增加时，谐振频率下降。如曲线 401 中所表现的不变的驱动功率以及如曲线 402 中所表现的谐振频率的非线性下降，都是如图 1 所示流量计中的流量管的流量增加的标志特征。相反，不变的驱动功率结合谐振频率的非线性增加表示流量计中流量的下降。

图 5 表示正常响应于流经流量计的物料密度变化的流量计工作参数的标志变化。图 5 中曲线图的横坐标是流经如图 1 所示的一种流量计中的流量管的物料密度。标注“驱动功率”的曲线 501 的纵坐标标度标注在曲线图的左侧。这一曲线表示按照谐振频率振动流量管所需的驱动功率。标注“频率”的曲线 502 的纵坐标标度标在曲线图的右侧。这一曲线 502 表示振动中的流量管的谐振频率的变化。如图 5 中的曲线可以看出，当物料密度增加时驱动功率维持不变，而物料密度增加时谐振频率下降。如曲线 501 所表现的不变的驱动功率和如曲线 502 所表现的谐振

频率的非线性下降，都是如图 1 中的一种流量计中的流量管中物料密度增加的标志特征。相反，不变的驱动功率结合谐振频率的非线性下降表示流量计中的流量管中的物料密度的下降。

如图 5 中所示的物料密度变化的标志明显地可与参照图 3 上面讨论的裂缝故障相区别。由图 5 中曲线 501 所表现的不变的驱动功率由 CPU200 明显地区别于图 3 中曲线 301 按正的斜率变化增加的驱动功率。为了将图 5 中的物料密度标志与图 4 中的流量标志相区别，CPU200 检测出图 4 中频率曲线 402 的负的曲率（二次导数）与图 5 中频率曲线 502 的正的曲率的不同。用于流量异常状态与物料密度异常状态比较的存储 ROM 存储器 202 中的异常标志信息表示 CPU200 必须将频率工作参数的曲率（二次导数）进行比较，才能确定已经发生哪种异常。

图 6 表示正常响应于流经流量计的物料的空隙百分率变化的流量计工作参数的标志变化。空隙百分率是流经流量计的物料中空气或气体含量的测量值。图 6 中的曲线图的横坐标是流经如图 1 的一种流量计中的流量管的物料的空隙百分率。标注“驱动功率”的曲线 601 的纵座标标度标在曲线图的左侧。这一曲线表示按照谐振频率振动流量管所需的驱动功率。标注“频率”的曲线 602 的纵坐标标度标在曲线图中的右侧。这一曲线 602 表示振动中的流量管谐振频率的变化。如图 6 中的曲线所示，当空隙百分率增加时，驱动功率和谐振频率两者都增加。按曲线 601 呈现的驱动功率的增加和按曲线 602 呈现的谐振频率的增加是如图 1 的一种流量计中的流量管中空隙百分率的标志特征。相反，驱动功率和谐振频率两者的下降表示流计量中的流量管中空隙百分率的下降。

图 7 表示通常与流经流量计物料的物质成分变化相对应的流量计工作参数的标志变化。物质成分是在流经流量计中的物料中较重物料含量的测量值。图 7 中的曲线图的横坐标是流经如图 1 的一种流量计中的流量管物料的物质成分。标注“驱动功率”的曲线 701 的纵座标标度标在曲线图的左侧。这一曲线 701 表示按照谐振频率振动流量管所需的驱动功率。标注“频率”的曲线 702 的纵坐标标度标在曲线图的右侧。这一曲线 702 表示振动中的谐振频率的变化。如图 7 中的曲线所示，当物质成分增加时，驱动功率增加，而当质量百分率增加时谐振频率下降。如曲线 701 所表现的驱动功率的线性增加和如曲线 702 所表现的谐振频率的线性下降是在如图 1 的一种流量计中的流量管中物质成分增加的标



志特征。相反，驱动功率的线性下降和谐振频率的线性增加表示流量计中的流量管中的物质成分下降。

为了将图 7 中的物质成分变化标志与图 3 中的裂缝故障相区别，CPU200 必须检测图 3 中频率曲线 302 和图 7 中频率曲线 702 的不同曲率（二次导数）。另外 CPU200 必须检测图 3 中的驱动功率曲线 301 和图 7 中驱动功率曲线 701 的不同曲率（二次导数）。对于裂缝故障状态与质量百分率异常状态比较的存储在 ROM 存储器 202 中的故障标志信息表示，CPU200 必须将频率或驱动功率工作参数的曲率（二次导数）相比较，以便确定已经发生了两种故障（异常）中的哪一种。

对于代表一种特定故障的工作参数的精确的“标志”阈值、斜率和曲率对于每种特定的流量计以及标称的材料成分、流量以及流量计内部的压力都是独特的。这些特定的标志值是在制造时通过测试确定的，并被存储在 ROM 存储器 202 中。本技术领域的熟练人员会易于认识到，这些标志阈值可以利用 CPU200 复制到 RAM 存储器 201 中，然后修改、设定以便适合于流量计的具体应用。

图 3 到图 7 中的纵坐标标度是按工作参数的百分变化表示的。本技术领域的熟练人员会认识到，可将阈值信息等效地表示为百分变化或绝对值阈值。下面讨论的本发明的方法是通过比较绝对值阈值来表示的。

图 8 是与图 6 中表示的信息一起使用的信息曲线，用以计算校正的质量流量。由质量流量测量仪器测量的质量流量的精确度由于流经流量计 10 的物料中空隙百分率的增加而受到有害的影响。如上面讨论的，空隙百分率代表与流经流量计 10 的物料相混合的较轻物质，如空气的含量。图 6 表示识别空隙百分率上升的标志信息是频率和驱动功率的函数，确切地说，为频率的线性上升伴随着驱动功率的按正的曲率增加。

除了下面讨论的其它信息之外，存储在 ROM 存储器 202 中的标志信息包括图 6 的曲线图中表示的空隙百分率信息的编码。本发明的方法利用空隙百分率信息来确定作为所测量的频率和驱动功率函数的当前空隙百分率。利用标志信息，如图 6 中的曲线所表示的或以为由频率或驱动功率值对空隙百分率进行内插所用的表格形式表示的、多项式等式中的系数，将图 6 中空隙百分率信息编码存入 ROM 存储器中。正如下面关于图 14 所讨论的，ROM 存储器 202 存储的空隙百分率信息被用于从频率和驱动功率测量值计算空隙百分率。本技术领域的熟练人员

会认识到，图 6 中所表示的函数的制表式的编码被推荐用于低廉的微处理机，这种处理机能处理有限的数字计算能力。

图 8 的曲线中所表示的信息用来计算拟被用到所测量的质量流量的误差校正系数（误差百分值），以便确定经校正的质量流量。图 8 表示了作为所测量的质量流量函数的误差百分率的 6 种示范性曲线。6 条曲线中的每一条都经标注，以表示按照上面讨论的利用图 6 所示的信息和在 ROM 存储器 202 中用标志信息存储的信息所确定的相应计算的空隙百分率。例如，如果空隙百分率计算约为 1.5%，在图 8 中标注 1.5 的曲线被用于确定要应用到指定的质量流量的误差校正系数（误差百分率）。使用标注 1.5 的曲线和测量的质量流量，可如图 8 所示那样确定误差百分数。

除了下面讨论的其它信息之外，存储在 ROM 存储器 202 中的标志信息包括图 8 的曲线图中表示的误差百分值的编码。本发明的方法利用误差百分值信息来确定作为测得流量和算得的空隙百分率函数的当前误差百分值。利用标志信息，如由图 8 中的曲线或以用于根据测得的质量流量和计算的空隙百分率数值对误差百分值进行内插所用的表格形式表示的多项式等式中的系数，对图 8 中的误差百分值信息进行编码存入 ROM 存储器 202 中。正如下面关于图 14 所描述的，在 ROM 存储器 202 中存储的误差百分值信息被用于计算校正的质量流量。本技术领域的熟练人员会认识到图 8 中所表示的函数的制表式编码被推荐用于低廉微处理机，这种处理机能处理有限的数字运算能力。

#### 故障标志信息格式

在图 2 中的 ROM 存储器 202 中存储的标志阈值信息由 CPU 用于与当前的工作参数值、斜率和曲率进行比较。当利用高级编程语言，如“C”语言表示为一种数据结构时，阈值信息格式要非常易于理解。要清楚地理解，这种表达只不过是在 ROM 存储器 202 中的标志阈值信息的一种示范性实施例。在本发明的构思和范围内有很多表示参考阈值信息的等效形式。通过确定几个工作参数的较高的下限，包括工作参数斜率的以及斜率的曲率的较高下限，阈值信息表示正常工作的流量计标称值。对于利用本发明的方法对可检测的几种故障（异常）状态将这些限值进行编码。如果这些参数的当前值，包括它们的斜率及它们的曲率，都处在限定的限值之内，则没有相应的故障（异常）状态出现。

```

struct reference_data {
    float NOMINALP;          /*应用场合的标称驱动功率*/
    float NOMINALF;          /*应用场合的标称频率*/
    float MAXM;              /*最大校正的质量流量*/
    float MINM;              /*最小校正的质量流量*/
5
    struct crack_detection_info {
        /*
        *用按正曲率增加的驱动功率表示的裂缝
        *与按负曲率降低的频率结合
10
        */
        float MAXP;          /*最大驱动功率*/
        float MINF;          /*最小频率*/
        float MAXPSLOPE;     /*最大驱动功率斜率*/
        float MINFSLOPE;     /*最小频率斜率*/
        float MAXPCURV;      /*最大驱动功率曲率*/
        float MINFCURV;      /*最小频率曲率*/
15
    } CRACK;
    struct flow_correction_info {
        /*
        *表示图 6 中标志曲线的表
        */
        float VOID_FRACTION[ ];          /*用于计算空隙百分率的表*/
        /*
        *表示图 8 中的曲线的表
25
        */
        float ERROR_PERCENT[ ];          /*用于计算误差百分值的表 */
    } MASS_CORRECT;
    int NUMFAULTS;
    /*其它可检测故障的数目*/
    struct other_fault_info {
30
        /*
        *每个“其它”可检测的故障具有如下的范围，可将这些范围设定
        为适合于特定的流量计应用场合。
        *例如，如果 MAXimum 参数与特定故障的检测无关，则将

```

\*其设定为 + INFINITY . 同样如果 MINimum 参数不需要, 则设定  
\*为 - INFINITY .

```

*/
float MAXF;          /*最大频率*/
5 float MAXP;         /*最大驱动功率*/
float MAXT;          /*最大温度*/
float MAXM;          /*最大测量质量流量*/
float MINF;          /*最小频率*/
float MINP;          /*最小驱动功率*/
10 float MINT;         /*最小温度*/
float MINM;          /*最小被测质量流量*/

float MAXFSLOPE;     /*最大频率斜率*/
float MAXPSLOPE;     /*最大驱动功率斜率*/

float MAXTSLOPE;     /*最大温度斜率*/
15 float MAXMSLOPE;   /*最大质量流量斜率*/

float MINFSLOPE;     /*最小频率斜率*/
float MINPSLOPE;     /*最小驱动功率斜率*/

float MINTSLOPE;     /*最小温度斜率*/
float MINMSLOPE;     /*最小质量流量斜率*/
20 float MAXFCURV;    /*最大频率曲率*/
float MAXPCURV;      /*最大驱动功率曲率*/

float MAXTCURV;      /*最大温度曲率*/
float MAXMCURV;      /*最大质量流量曲率*/
25 float MINFCURV;    /*最小频率曲率*/
float MINPCURV;      /*最小驱动功率曲率*/

float MINTCURV;      /*最小温度曲率*/
float MINMCURV;      /*最小质量流量曲率*/
/*
*如果利用上述标志表示的故障被检测到, 则
如下的各种场合确定拟利用泵、阀和显示板采取的动作
30 */
/*调节泵速度以便校正*/
/*调节阀以便校正*/
/*显示信息*/

```

}FAULT[MAXFAULTS];  
}REF;

### 故障检测和校正方法一总览

5 本发明的方法利用上述标志信息来检测和校正几种故障情况。图 9 是本发明方法的流程图。图 9 中的各步骤按高概括程度表示了本发明的方法。后面的附图和下面的相关介绍提供了图 9 中的各个步骤的附加细节。

步骤 900 的实施是为了得到准备用于分析流量计 10 的当前工作参数的采样。以下关于图 10 进一步详细地描述步骤 900。

10 步骤 902 的实施是为将由步骤 900 得到的采样存储在 RAM 存储器 201 中的循环缓冲器中。以下关于图 11 进一步详细地描述步骤 902。

步骤 904 的实施是为了计算由于实施步骤 900 进行采样的和由于实施步骤 902 在 RAM 存储器 201 中存储的工作参数变化斜率和曲率。利用在 RAM 存储器 201 中的循环缓冲器中存储的最新的采样加上先前的采样来确定工作参数随时间变化的斜率和曲率。以下关于图 12 进一步详细地描述步骤 904。

20 步骤 906 的实施是为了确定是否在流量计 10 中的流量管 12 和 14 中形成裂缝。步骤 906 分析当前采样的工作参数以及在步骤 904 中计算的斜率和曲率，以便检测在流量管 12 和 14 中裂缝的形成。如果检测到裂缝，实施步骤 906 以便中止物料流经流量计 10 并减少流量管 12 和 14 内部的流体压力。以下关于图 13 进一步详细地描述步骤 906。

25 步骤 908 的实施是为了通过对于检测到的流经流量管 12 和 14 的物料中的空隙百分率补偿测量的质量流量来校正通过流量计 10 的质量流量。如果发现校正的质量流量在许可的限值之外，实施步骤 908，以便调节所计算的通过流量计 10 的流量。以下关于图 14 进一步详细地描述步骤 908。

30 步骤 910 的实施是为了将被采样的工作参数与所计算的工作参数对 ROM 存储器 202 中存储的相应标志信息的变化斜率和曲率相比较。如果某一故障标志信息与相应的测量的或计算的信息相一致，则在 ROM 存储器 202 中记录的校正操作与标志信息一起实施，以便努力校正产生的问题并通知控制人员产生了故障。以下关于图 15 进一步详细地描述步骤 910。

步骤 912 的实施是为了延迟执行本发明的方法，直到下一个采样周期。这样就保证了按周期采样和分析流量计 10 的工作参数。本方法的过程继续在步骤 900 实施。本方法周期性地重复从 900 到 912 的各个步骤的进行，以便监视流量计 10 的工作，检测和校正工作中的故障。

#### 5      故障检测和校正方法 - 采样

图 10 是表示实施上述步骤的附加细节的流程图。图 10 中的各步骤的实施是为了对流量计 10 的工作参数进行采样。具体地说，通过实施图 10 中的各步骤对频率、驱动功率、温度和测量的质量流量分别进行采样和按名为  $\overline{F}$ 、 $\overline{P}$ 、 $\overline{T}$  和  $\overline{M}$  的各变量存储在 RAM 存储器 201 中。  
10    将三个连续的读数平均有助于降低在经通道 160 到 163 由质量流量测量仪器 24 所接收的模拟信号中的噪声影响。名为 S1、S2 和 S3 的存储在 RAM 存储器 201 中的变量用于暂时存储每个被采样工作参数的三个连续的读数。

步骤 1000 的实施是为了由通道 220 读出频率的 3 个连续的数值，  
15    分别作为变量 S1、S2、S3。

步骤 1002 通过将变量 S1、S2 和 S3 相加并将其和除以 3 计算平均频率值。然后将平均频率按变量  $\overline{F}$  存储，以便由后续的步骤进一步处理。

步骤 1004 的实施是为了由通道 221 读出 3 个连续的驱动功率值，  
分别作为变量 S1、S2 和 S3。

20    步骤 1006 通过将变量 S1、S2 和 S3 相加及对其和除以 3 计算平均驱动功率值。然后将平均驱动功率作为变量  $\overline{P}$  存储，以便由后续的步骤进一步处理。

步骤 1008 的实施是为了由通道 222 分别读出 3 个连续的温度值作为变量 S1、S2 和 S3。

25    步骤 1010 通过将变量 S1、S2 和 S3 相加并对其和除以 3 来计算平均温度值。然后将该平均温度作为变量  $\overline{T}$  存储，以便由后续的步骤进一步处理。

步骤 1012 的实施是为了由通道 223 分别读出 3 个连续的测量的质量流量值作为变量 S1、S2 和 S3。

30    步骤 1014 通过将变量 S1、S2 和 S3 相加并将其和除以 3 来计算平均的测量的质量流量。然后将平均的测量的质量流量作为变量  $\overline{M}$  存储，以便由后续的步骤进一步处理。这样就完成了图 10 中的各步骤，因而

也就是完成了图 9 中的步骤 900 的处理过程。继续由图 9 的步骤 902 进行处理。

#### 故障检测和校正方法 - 存储

图 11 是表示上述步骤 902 实施的附加细节的流程图。具体地说，  
5 图 11 中的各步骤将通过实施图 9 中的步骤 900 计算的平均工作参数值存储在图 2 中的 RAM 存储器 201 中的循环缓冲器中。对于当前的采样周期和先前的采样周期存储在循环缓冲器中的数值在后续的步骤中使用，以便进一步处理。

步骤 1100 的实施是为了存储由实施图 9 中的步骤 900 确定的平均  
10 工作参数值。NEXT 是一个存储在 RAM 存储器 201 中的变量，并且作为一个循环指针被用并行循环缓冲器阵列 RARRAY、PARRAY、TARRAY 和 MARRAY 中。在 RAM 存储器 201 中的循环缓冲器也进行存储。具体地说，由 NEXT 变量当前值所指引的  $\overline{F}$ 、 $\overline{P}$ 、 $\overline{T}$  和  $\overline{M}$  每个分别存储在 FARRAY、PARRAY、TARRAY 和 MARRAY 的一个单元中。  
15

步骤 1102 的实施是为了通过按照 MAXSAMPLES 提供一个模数函数以循环方式来递增变量 NEXT。MAXSAMPLE 是拟被存储在上面在步骤 1100 中讨论的循环缓冲器阵列中的最大采样数目。这样就完成了图 11 中的各步骤，因此亦就是图 9 中的步骤 902 的处理过程。由图 9  
20 中的步骤 904 继续处理过程。

#### 故障检测和校正方法 - 斜率和曲率计算

图 12 是表示实施上述步骤 904 的附加细节流程图。图 12 各步骤的实施是为了计算每个存储的平均工作参数变化的斜率（关于时间的一阶导数）和曲率（关于时间的二阶导数）。将用于存储被计算的每个工作  
25 参数的变化斜率和曲率的变量存储在 RAM 存储器 201 中。此外用于指引输入上述循环缓冲器中的 3 个暂存的变量被存储在 RAM 存储器 201 中。

步骤 1200 对于通过实施上述步骤 902 存储在循环缓冲器中的过去的 3 个平均值，计算输入到循环缓冲器阵列 FARRAY、PARRAY、  
30 TARRAY 和 MRRAY 中的系数。如上所述，模数运算用于计算变量 PREV1、PREV2 和 PREV3 的值，对于过去 3 个平均值的输入到循环缓冲器中的系数。按照 NEXT 的当前值分别减 1、2 和 3 计算 PREV1、

PREV2 和 PREV3.

步骤 1202 的实施是为了计算所存的频率工作参数的平均值变化的斜率和曲率. FSLOPE 和 FCURV 是作为在图 2 中的 RAM 存储器 201 中存储的斜率和曲率的变量. 按照按 FARRAY[PREV1] 和 FARRAY[PREV2] 存储的频率的最后两个平均值之间的差计算 FSLOPE. 用于工作参数变化速率的时基预设为一个时间单位, 该时间单位等于上面讨论的图 9 中单元 912 中用于对工作参数采样的采样周期. FCURV 是过去的两个时间周期的计算的斜率之间的差. 具体地说, FCURV 等于 ( FARRAY[PREV1]-FARRAY[PREV2] ) - ( FARRAY[PREV2]-FARRAY[PREV3] ) .

步骤 1204 的实施是为了计算所存的驱动功率工作参数平均值的变化斜率和曲率. PSLOPE 和 PCURV 是在图 2 中存储斜率和曲率的 RAM 存储器 201 中的变量. 按照以 PARRAY[PREV1] 和 PARRAY[PREV2] 存储的最后两个驱动功率值之间的差计算 PSLOPE. 对于工作参数变化速率的时基预设为一个时间单位, 这个时间单位等于如上面讨论的图 9 中的步骤 912 中用于对工作参数采样的采样周期. PCURV 是所计算的过去的两个时间周期的斜率之间的差. 具体地说, PCURV 等于: (PARRY[PREV1]-PARRAY[PREV2])-(PARRAY[PREV2]-PARRAY[PREV3]) .

步骤 1206 的实施是为了计算所存的温度工作参数平均值变化的斜率和曲率. TSLOPE 和 TCURV 是在图 2 中存储斜率和曲率的 RAM 存储器 201 中的变量. 按照以 TARRAY[PREV1]和 TARRAY[PREV2]存储的温度的最后两个数值之间的差计算 TSLOPE. 对于工作参数变化速率的时基预设为一个时间单位, 这样的时间单位等于如上面讨论的图 9 中的步骤 912 中用于对工作参数进行采样的采样周期. TCURV 是所计算的最后两个时间周期斜率之间的差. 具体地说, TCURV 等于: ( TARRAY[PREV1]-TARRAY[PREV2] ) -(TARRAY[PREV2]-TARRAY[PREV3]).

步骤 1208 的实施是为了计算所存的被测质量流量工作参数平均值变化的斜率和曲率. MSLOPE 和 MCURV 是在图 2 中存储斜率和曲率的 RAM 存储器 201 中的变量. 按照以 MARRAY[PREV1] 和 MARRAY[PREV2] 存储的被测质量流量的最后两个数值之差计算



MSLOPE . 对于工作参数变化速率的时基预设为一个时间单位, 该时间单位等于如上面讨论的按照图 9 中的步骤 912 中用于对工作参数进行采样的采样周期. MCURV 是所计算的最后两个时间周期斜率之间的差. 具体地说, MCURV 等于 ( MARRAY[PREV1]-  
5 MARRAY[PREV2] ) -(MARRAY[PREV2]-MARRAY[PREV3]). 这样就完成了图 12 中的各步骤, 因而也就完成了图 9 中的步骤 904 的处理过程. 过程继续由图 9 中的步骤来实施.

#### 故障检测和校正方法 - 裂缝检测

图 13 是表示实施上述步骤 906 附加细节的流程图. 图 13 中的各步骤的实施是为了确定是否在流量计 10 的流量管 12 和 14 中产生了裂缝. 通过将当前采样的工作参数值、对于频率和驱动功率所计算的斜率和计算的曲率与在 ROM 存储器 202 中存储的标志信息相比较来检测裂缝. 上述 REF.CRACK 数据结构包含对于如图 1A 中所示特定应用场合的特定流量计 10 的相关限值. 正曲率增加驱动功率结合按负曲率减小频率  
15 是在流量管 12 或 14 中产生裂缝的特征.

步骤 1300 的实施是为了将由实施步骤 900 计算的、采样驱动功率  $\overline{P}$  与上面讨论的 REF.CRACK.MAXP 进行比较. 这样确定是否驱动功率已经增加超出阈值之外, 以致需要进一步测试, 以确定在流量管 12 或 14 中存在的裂缝. 如果采样的驱动功率还没有达到相应的标志阈值, 表明在流量管 12 和 14 中没有裂缝, 图 12 中的各步骤的处理过程就完成了. 如果没有产生裂缝, 图 9 中的步骤 906 的处理过程完成, 利用图 9 中的步骤 908 继续该过程. 否则, 需要进一步测试, 以确定在流量管 12 和 14 中是否产生裂缝, 由步骤 1302 继续处理过程.

步骤 1302 的实施是为了将由实施步骤 900 计算的、采样频率  $\overline{F}$  与上面讨论的 REF.CRACK.MINF 相比较. 这样确定是否频率已经降低到阈值之外, 以致需要进一步测试, 以确定流量管 12 和 14 中存在的裂缝. 如果采样频率还没有达到相应的标志阈值, 表明在流量管中没有裂缝, 图 12 中的各步骤的处理过程完成. 如果没有裂缝存在, 则完成图 9 中步骤 906 的处理过程, 并由图 9 中的步骤 908 继续该过程. 否则, 需要  
30 进一步测试, 以便确定在流量管 12 和 14 中是否存在裂缝, 由步骤 1304 继续处理过程.

步骤 1304 的实施是为了将通过实施步骤 904 计算的驱动功率变化

的斜率 PSLOPE 与上面讨论的 REF.CRACK.MAX.PSLOE 相比较。这样确定了驱动功率斜率是否已经增加超出阈值之外，以致需要进一步测试，以确定在流量管 12 或 14 中是否存在裂缝。如果驱动功率斜率还没有达到相应的标志阈值，则表明在流量管 12 和 14 中没有裂缝，图 12 中的各个步骤的处理过程完成。假如没有裂缝，则使图 9 中的步骤 906 的处理过程被完成，并由图 9 中的步骤 908 继续该过程。否则，需要进一步测试，以确定在流量管 12 和 14 中是否存在裂缝，由步骤 1306 继续处理过程。

步骤 1306 的实施是为了将通过实施步骤 900 所计算的频率变化的斜率 FSLOPE 与上面讨论的 REF.CRACK.MINFSLOPE 相比较。这样确定了频率斜率是否已被降低超出阈值之外，以致需要进一步测试，以确定在流量管 12 或 14 中是否存在裂缝。如果频率斜率还没有达到相应的标志阈值，则表明在流量管 12 和 14 中没有裂缝，图 12 中的各步骤的处理过程完成。如果不存在裂缝，则使图 9 中步骤 906 的处理过程被完成，并由图 9 中的步骤 908 继续该过程。否则，需要进一步测试，以确定在流量管 12 或 14 中是否存在裂缝，由步骤 1308 继续处理过程。

步骤 1308 的实施是为了将通过实施步骤 904 所计算的驱动功率的变化曲率与上面讨论的 REF.CRACK.MAXPCURV 相比较。这样确定了驱动功率斜率是否已经增加超出阈值之外，以致需要进一步测试，以确定在流量管 12 和 14 中是否存在裂缝。如果驱动功率斜率还没有达到相应的标志阈值，表明在流体管道 12 和 14 中没有裂缝，图 12 中的各步骤的处理过程完成。如果不存在裂缝，则使图 9 中的步骤 906 的处理过程被完成，由图 9 中的步骤 908 继续该过程。否则，需要进行进一步测试，以确定在流量管 12 和 14 中是否存在裂缝，由步骤 1310 继续处理过程。

步骤 1310 的实施是为了将通过实施步骤 900 所计算的频率变化曲率 FCURV 与上面讨论的 REF.CRACK.MINFCURV 相比较。这样就确定了频率曲率是否已经下降超出阈值之外，以致需进一步测试，以确定在流量管 12 和 14 中是否存在裂缝。如果频率曲线还没有达到相应的标志阈值，表明在流量管 12 和 14 中没有裂缝，图 12 中的各步骤的处理过程完成。假如没有裂缝存在，则完成图 9 中的步骤 906 的处理过程，由图 9 中的步骤 908 继续该过程。否则在流量管 12 和 14 中存在裂缝，并由步骤 1312 继续处理过程。

步骤 1312 的实施是为了通过对通道 170 提供适当的信号，中止泵 180 运转。中止泵 180 工作将中止通过流量管 12 和 14 的物料流动，减少物料经过在流量管 12 和 14 中的裂缝漏出的可能性。

步骤 1314 的实施是为了通过向通道 171 提供适当的信号打开阀 181。打开阀 181 减小在流量计 10 中的背压，以便进一步降低通过在流量管 12 和 14 中的裂缝漏出的可能性。

步骤 1316 的实施是为了通知控制人员流量计 10 中的流量管 12 和 14 中存在裂缝。将适当的信息提供到通道 172 上以便在控制板 182 上显示。图 13 中的各步骤的控制过程完成，因而完成了图 9 中的步骤 906 的控制过程。由图 9 中的步骤 908 继续处理过程。

#### 故障检测和校正方法 - 质量流量校正

图 14 是表示实施上述步骤 908 的附加细节流程图。实施图 14 的各步骤是为了计算通过流量计 10 的经校正的质量流量。利用由所测量的质量流量和所计算的流经流量管 12 和 14 物料的空隙百分率所确定的误差系数（误差百分值），来调节所述经校正的质量流量。按照作为图 6 所示的和如上讨论的采样频率和采样驱动功率的函数确定空隙百分率。按照上面关于图 8 讨论的由质量流量测量仪器 24 所提供的被计算的空隙百分率和被计算的质量的函数确定误差百分值。然后将该误差百分值应用到所测量的质量流量，以确定该校正的质量流量。如上面所讨论的那样，图 6 和 8 中所示的信息在 ROM 存储器 202 中被编码，用以确定空隙百分率和误差百分值，以校正所测量的质量流量。REF.MASS\_CORRECT.VOID\_FRACTION 是 ROM 存储器 202 中所存储的并在图 6 中所示的信息的编码，用于作为测量的频率和驱动功率的函数计算空隙百分率。REF.MASS\_CORRECT.ERROR\_PERCENT 是 ROM 存储器 202 中所存的并在图 8 中所示的信息的编码，用于作为所测量的质量流量和所计算的空隙百分率的函数计算误差百分值。

采用经校正的质量流量能够在很宽的工艺条件范围下进行更精确的测量。

步骤 1400 的实施是为了确定流经流量计 10 的物料的空隙百分率。作为  $\overline{F}$ 、 $\overline{P}$ 、FSLOPE、PSLOPE、FCURV 和 PCURV 的函数来确定空隙百分率，而所有这些信息是通过上面讨论的实施步骤 900 和 904 确定的，并且是结合在图 6 中所示的和在 ROM 存储器 202 中作为

REF.MASS\_CORRECT.VOID\_FRACTION 编码的信息使用的。正如以上讨论的，在 ROM 存储器 202 中的信息可以按表格形式或按照用于确定空隙百分率的多项式等式中的系数进行编码。表格形式最好被推荐用于低廉的微处理机如图 2 中的 CPU200，这样的处理机具有有限计算能力。 $\bar{F}$ 、 $\bar{P}$ 、FSLOPE 和 PSLOPE 的当前数值用于内插在 ROM 存储器 202 中按 REF.MASS\_CORRECT.VOID\_FRACTION 存储的各列表值的表格中，以便确定流经流量计 10 的物料的当前空隙百分率。

步骤 1402 的实施是为了确定拟用于校正该流量计 10 的测量的质量流量的误差百分值。作为通过实施上面讨论的步骤 900 确定的  $\bar{M}$  以及上述通过步骤 1400 计算的空隙百分率的函数确定误差百分值，这些百分值结合在图 8 中表示的并在 ROM 存储器 202 中按照 REF.MASS\_CORRECT.ERROR\_PERCENT 编码的信息结合使用。正如上面讨论的，在 ROM 存储器 202 中的信息可以按照表格形式或按照用于确定空隙百分率的多项式等式中的系数进行编码。制表形式被推荐用于低廉的微处理器，如图 2 的 CPU200，这种处理器，具有有限的计算能力。通过上述实施步骤 1400 确定的  $\bar{M}$  的当前数值和空隙百分率，并被用于内插在 ROM 存储器 202 中按 REF.MASS\_CORRECT.ERROR\_PERCENT 存储的列表值的表中，以便确定当前的误差百分值，用以校正在流量计 10 内部流动的物料的被测质量流量。

实施步骤 1404 是为了由通过实施如上面讨论的步骤 1402 确定的  $\bar{M}$  和所计算的误差百分值来确定经校正的质量流量。将该误差百分值应用于测量的质量流量，以便校正空隙百分率对于测量的质量流量的影响。

步骤 1406 的实施是为通过在控制板 182 上显示沿通道 172 传输的信息来告之控制人员校正的质量流量。

步骤 1408 将通过实施步骤 1406 确定的经校正的质量流量与如上讨论的在 ROM 存储器 202 中按照 REF.MINM 存储的标称的阈值最小流量相比较。如果校正的质量流量低于该阈值，则由步骤 1410 继续该过程。否则由步骤 1412 继续该过程。

步骤 1410 的实施是为了通过增加泵 180 的速度和打开阀 181 来增加质量流量。图 2 的 CPU200 通过向通道 170 和 171 分别提供信号控制泵 180 和阀 181。这样就完成了图 14 中的各步骤的处理过程，因此也

就完成了图 9 中的步骤 908 的处理过程。由图 9 中的步骤 910 继续处理过程。

步骤 1412 将由实施步骤 1406 所确定的经校正的质量流量与如上面讨论的在 ROM 存储器 202 中按 REF.MAXM 存储的标称的阈值最大流量相比较。如果校正的质量流量大于该阈值，由步骤 1414 继续处理过程。否则，这样就完成了图 14 中的各步骤的处理过程，因此完成了图 9 中的步骤 908 的处理过程，由图 9 中的步骤 910 继续处理过程。

步骤 1414 的实施是为了通过降低泵 180 的速度和关闭阀 181 来降低质量流量。图 2 中的 CPU200 通过分别向通道 170 和 171 提供信号来控制泵 180 和阀 181。这样就完成了图 14 中的各步骤因而也完成图 9 中的步骤 908 的控制过程。由图 9 中的步骤 910 继续处理过程。

#### 故障检测和校正方法 - 其它故障检测和校正

图 15 是表示实施如上所述的步骤 910 附加细节的流程图。图 15 中各步骤的实施是为了检测在流量计 10 中的其它工作故障状态。如上所述，对于每种可检测故障情况的标志信息被存储在 ROM 存储器 202 中，这些信息被编码成为对于每个采样的工作参数的高和低的阈值，以及对每个相应的工作参数的相关的计算的变化斜率和曲率的高和低的阈值。利用如上所述，本发明的方法可检测的其它故障状态的数目按照 REF.NUMFAULTS 存储在 ROM 存储器 202 中。如上所述，对于所有可检测的故障情况的标志信息按照 REF.FAULT[ ]结构的矩阵进行存储。

本技术领域的熟练人员将会认识到，上面参照图 13 讨论的对于流量计 10 中的流量管 12 和 14 中的裂缝的检测是这里关于图 15 所介绍的一般的故障检测方法实施时可检测的故障的一个实例。上面参照图 13 单独对裂缝检测进行了讨论，这有助于阐明根据本发明的方法检测裂缝的准确的方法。按照 REF.CRACK 编码的阈值可以像通过实施图 15 中的方法可检测其中一种故障以及在 ROM 存储器 202 中按 REF.FAULT 编码一样按类似方式编码。

实施步骤 1500 以便进行起始化，使在 RAM 存储器 201 中存储的循环计数的指定为 I 的变量设为 0。当所有可检测的故障状态的处理过程完成时，使用 I 代表要确定的顺序各步骤。

实施步骤 1502 以便将每个采样的工作参数与在 ROM 存储器 202

中编码和存储的与之对应的高和低的阈值相比较。具体地说，将  $\overline{M}$  与 REF.FAULT[I].MINM 以及 REF.FAULT[I].MAXM 相比较。按相似的方式， $\overline{P}$ 、 $\overline{F}$  和  $\overline{T}$  每个与它们各自的最小和最大阈值即：

- 5 REF.FAULT[I].MINP、REF.FAULT[I].MAXP、REF.FAULT[I].MINF、REF.FAULT[I].MAXF、REF.FAULT[I].MINT 以及 REF.FAULT[I].MAXT 相比较。如果全部比较结果表明，各采样的工作参数中的任何一个在规定范围之外，则已经产生相应的故障，由步骤 1512 继续处理过程。否则由步骤 1504 继续处理过程。

- 10 实施步骤 1504 以便将所计算的每个采样的工作参数的变化斜率与其对应的在 ROM 存储器 202 中编码和存储的高和低的阈值相比较。具体地说，将 MSLOPE 与 REF.FAULT[I].MINMSLOPE 及 REF.FAULT[I].MAXMSLOPE 相比较。按相似的方式，将 PSLOPE、FSLOPE 和 TSLOPE 每个与它们各自的最小和最大阈值，即：REF.FAULT[I].MINPSLOPE、REF.FAULT[I].MAXPSLOPE、REF.FAULT[I].MINFSLOPE、REF.FAULT[I].MAXSLOPE、REF.FAULT[I].MINTSLOPE 以及 REF.FAULT[I].MAXTSLOPE 相比较。如果全部比较结果表明，所计算的斜率中的任一个在规定范围之外，则已发生相应的故障，由步骤 1512 继续处理过程。否则，由步骤 1506 继续处理过程。

- 20 实施步骤 1506 以便将所计算的每个采样的工作参数的变化曲率与在 ROM 存储器 202 中编码和存储的与之对应的高和低阈值相比较。具体地说，将 MCURV 与 REF.FAULT[I].MINMCURV 和 REF.FAULT[I].MAXMCURV 相比较。按照相似的方式，PCURV、FCURV 和 TCURV 每一个与它们各自的最小和最大阈值即：REF.FAULT[I].MINPCURV、REF.FAULT[I].MAXPCURV、REF.FAULT[I].MINFCURV、REF.FAULT[I].MAXFCURV、REF.FAULT[I].MINTCURV 和 REF.FAULT[I].MAXTCURV 相比较。如果全部比较结果表明，所计算的曲率中的任一个在规定范围之外，则已经产生相应的故障，由步骤 1512 继续处理过程。否则由步骤 1508 继续处理过程。

30 实施步骤 1508 以便将循环计数 I 加 1，准备测试按经编码的标志信息的 REF.FAULT[ ] 矩阵所表示的下一故障情况。

息的 REF.FAULT[] 矩阵所表示的下一故障情况。

实施步骤 1510 以便将循环计数值 I 与 REF.NUMFAULTS 相比较。如果 I 还没有达到按 REF.FAULT[] 矩阵中编码的故障数, 则由步骤 1502 继续处理过程, 以便处理在 ROM 存储器 202 中编码的另一种故障标志。否则, 这样就完成了图 15 中的各步骤, 因此也就完成图 9 中的步骤 910 的处理过程。由图 9 中的步骤 912 继续处理过程。

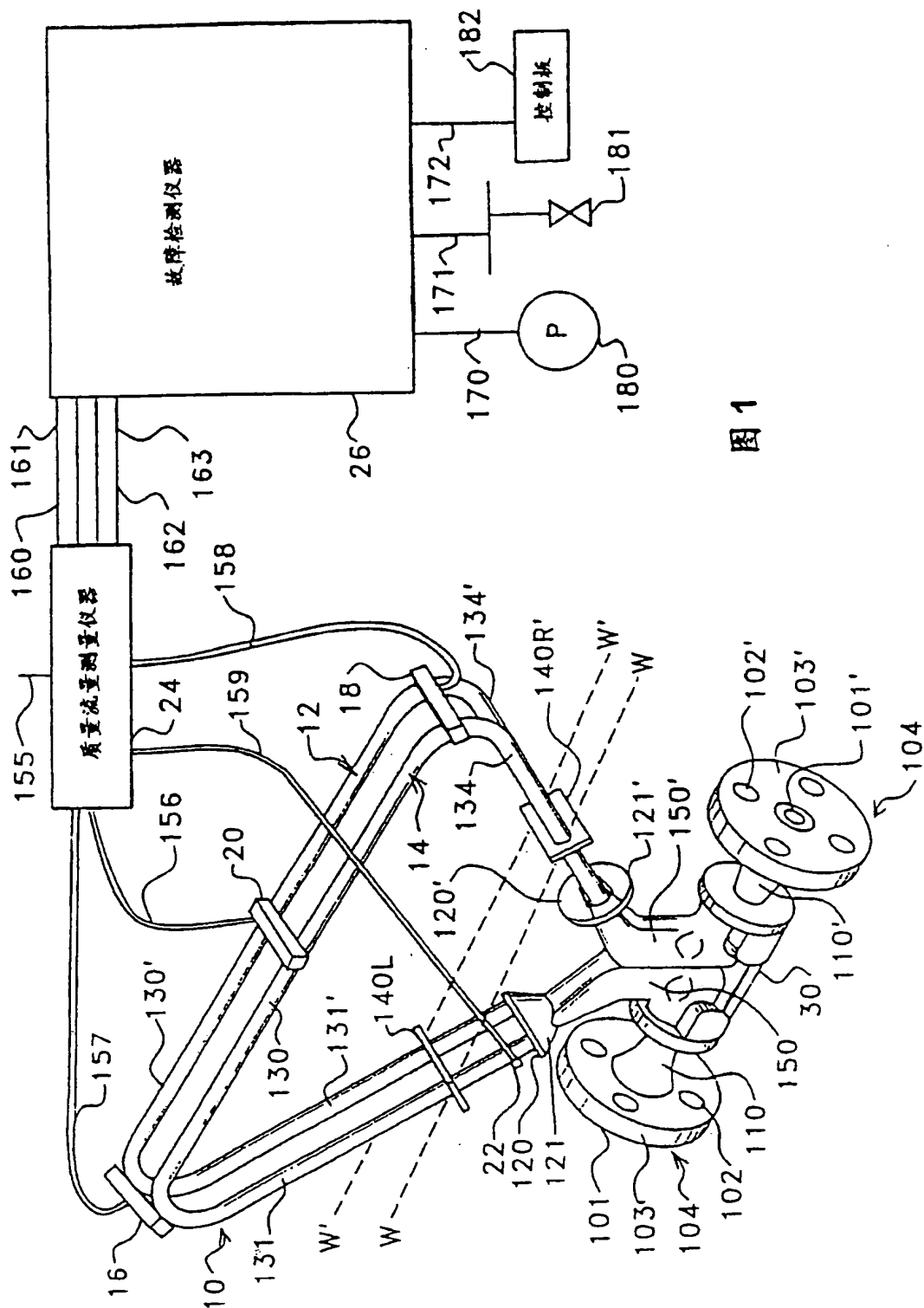
实施步骤 1512 以便按照以 REF.FAULT[I].PUMPCHANGE 确定的百分值改变泵 180 的速度。通过 CPU200 在通道 170 上施加适当的信号来改变泵 180 的速度。泵 180 速度的改变意在改变流量计 10 中物料的质量流量, 以便校正测得的按 REF.FAULT[I] 编码的故障情况。

实施步骤 1514 以便按照以 REF.FAULT[I].VALVECHANGE 确定的百分值来改变阀门 181 的位置。通过 CPU200 在通道 171 施加适当的信号来改变阀门 181 的位置。阀门 181 位置的改变意在改变在流量计 10 中物料的质量流量, 以便校正测得的按照 REF.FAULT[I] 编码的故障情况。

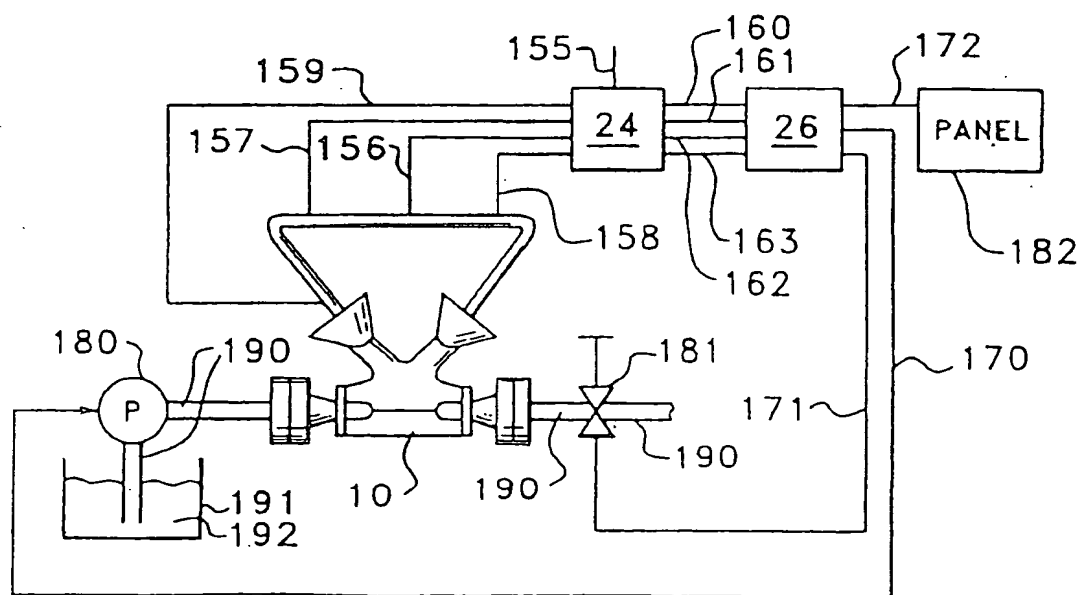
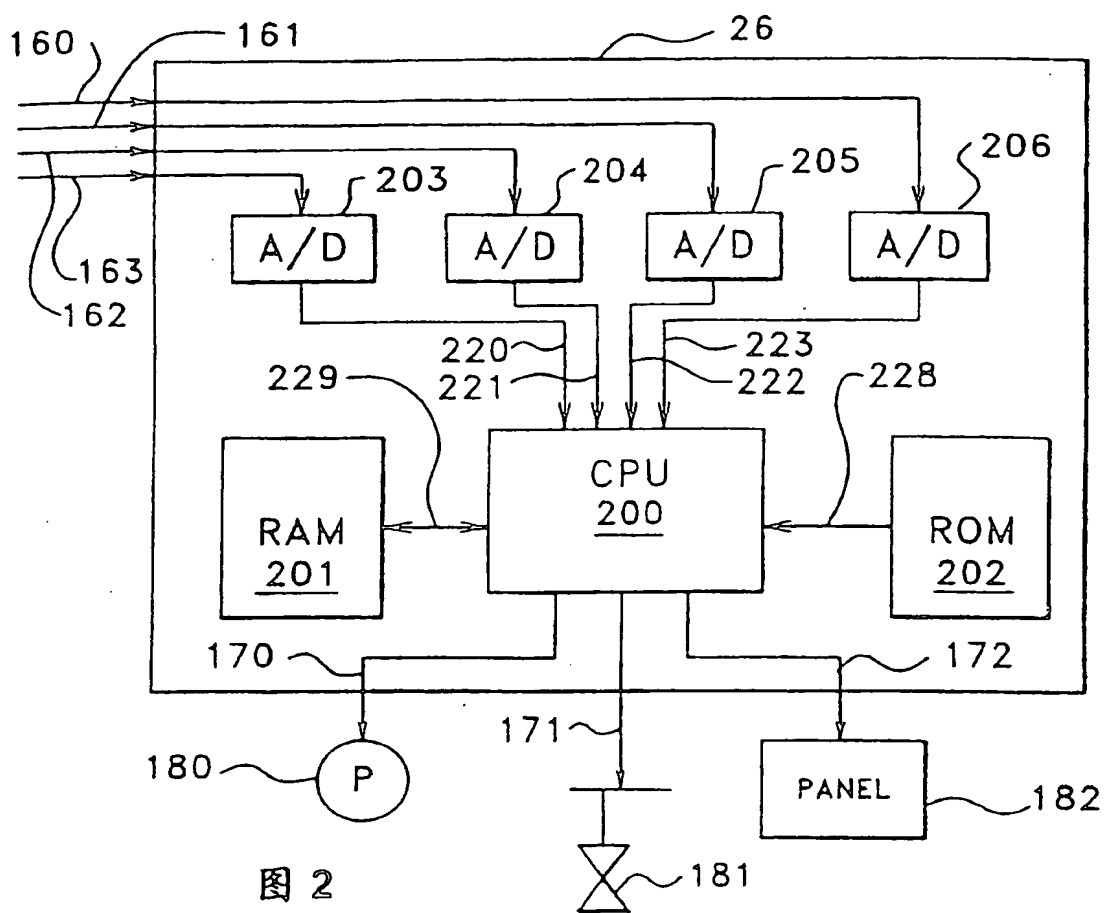
实施步骤 1516 以便在控制板 181 上显示信息表示产生所测得的故障情况。所显示的信息是由按 REF.FAULT[I].DISPLAY 确定的数值提取的。通过 CPU200 在通道 172 上提供适当的信号在控制板 182 上显示该信息。这样就完成了图 15 中的各步骤, 因而也就完成了图 9 中的步骤 910 的处理过程。由图 9 中的步骤 912 继续处理过程。

应当明确地理解, 提出权利要求的本发明并不局限于对优选实施例的介绍, 而是包含在本发明的原理范围和构思内的其它改进和替换。特别是, 本发明的方法和装置可以适用于具有各种管形, 包括所谓的“U”形管、直管或其它形状管的科里奥利效应质量流量计。此外, 在图 3 到 8 中的曲线图上所表示的信息和数据代表根据多种流量计, 在不同时间和不同工作条件下所得到的测试值。因此, 由图 3 到图 8 中的每个曲线图得到的数据不能推理与另一曲线图中的数据相比较。在确定的流量计数据输出中包含有很多变量。在这些变量中有: 流量管管壁厚度、材料温度、粘度和流速; 包含流量管在内的材料的弹性特性, 等等。因此, 在这些图中的每一个所示的数据仅是说明性的, 仅用于描述在同一曲线图上所示各种参数之间的相互关系。因为所包含的很多变量虽不能用数字值来表示, 但易于以其它方式再现。

# 说明书附图







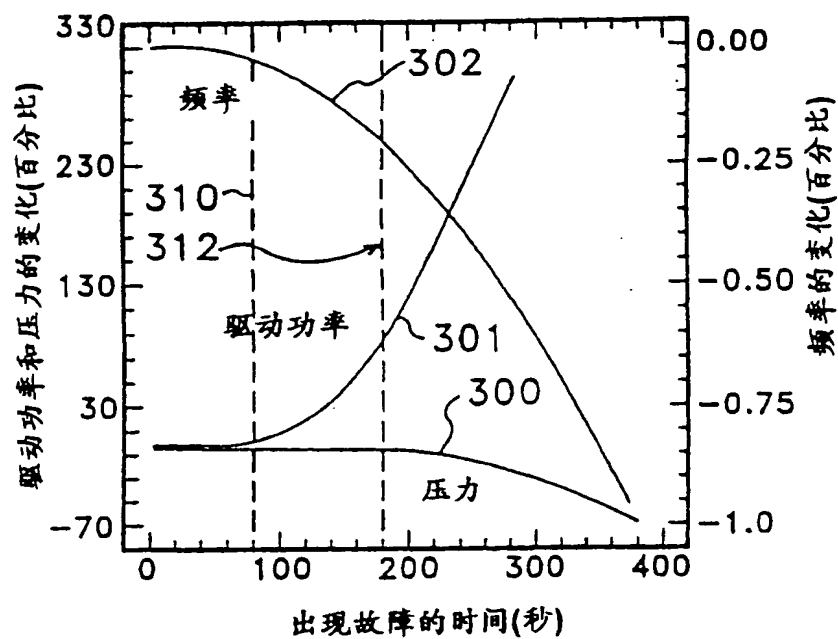


图 3

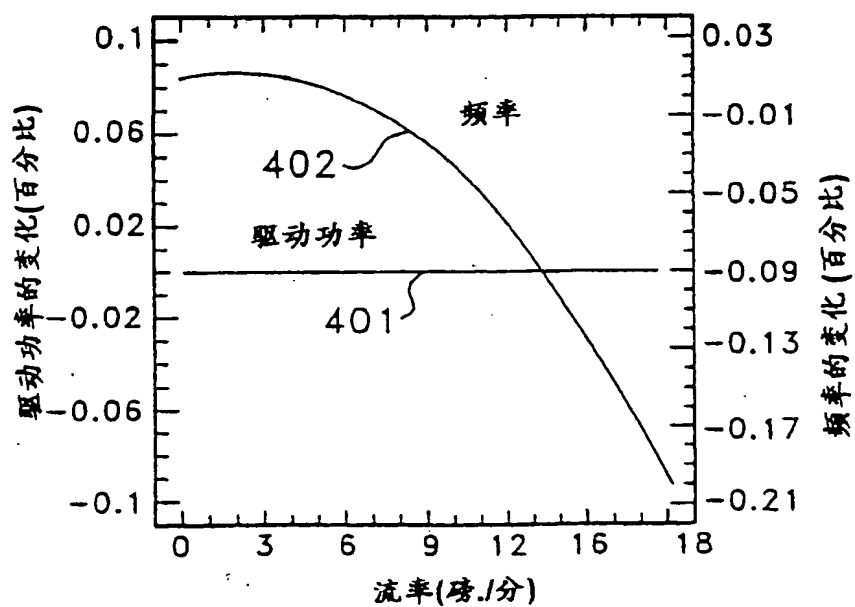
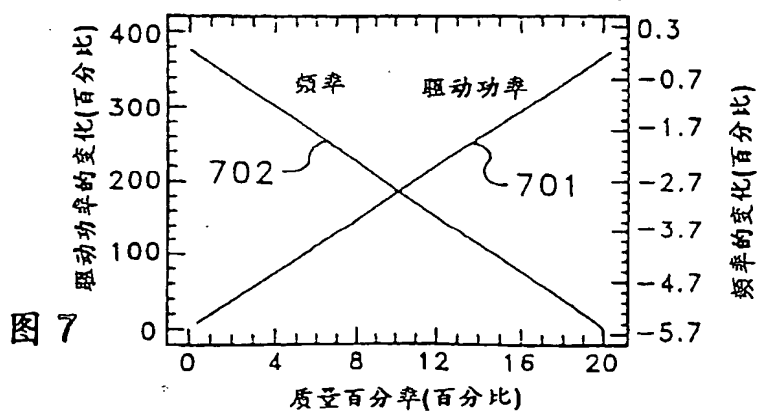
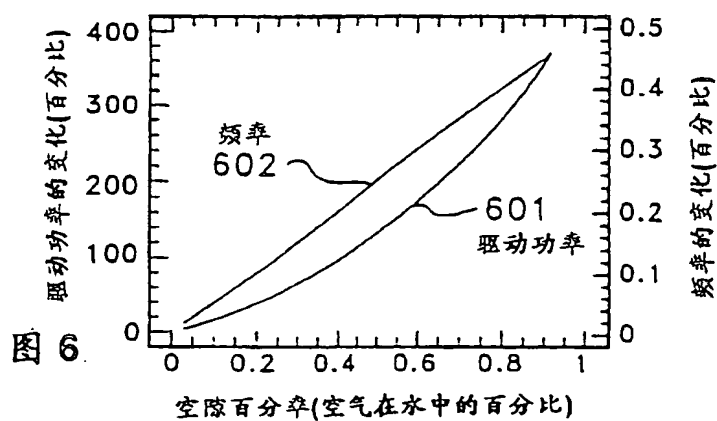
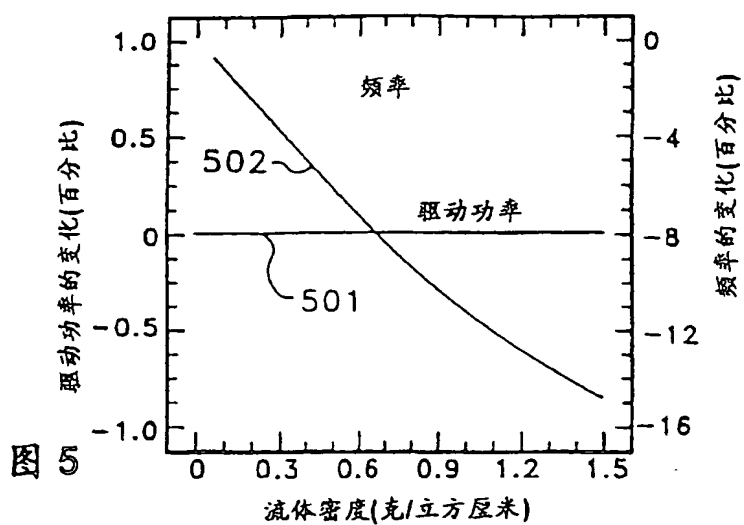


图 4



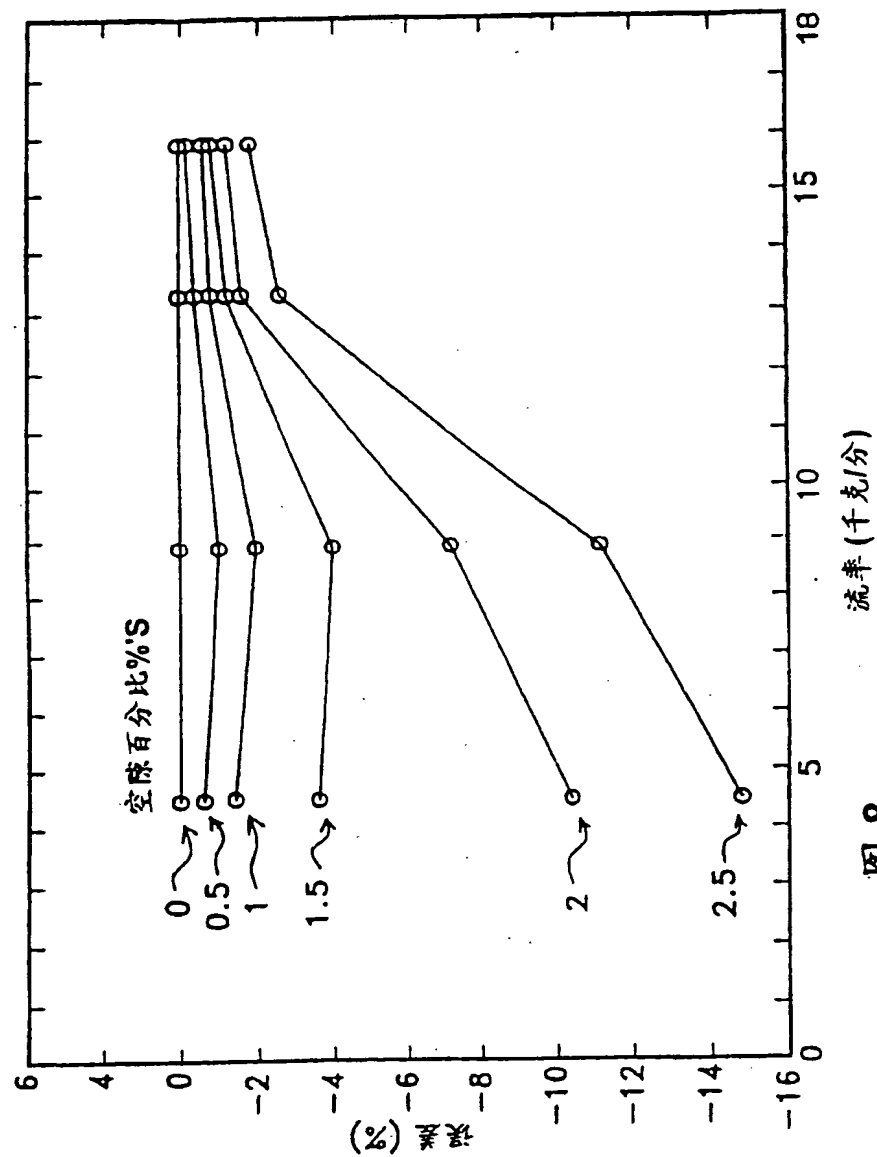


图 8

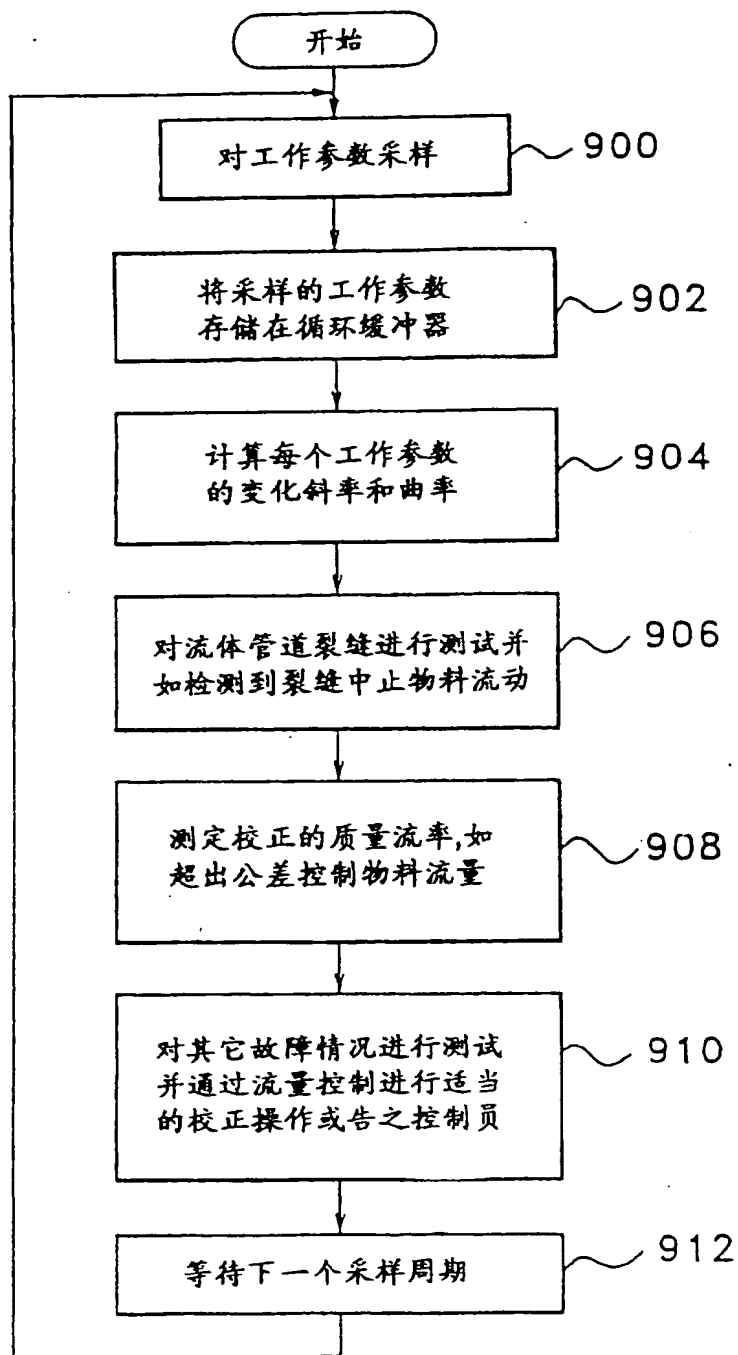


图 9

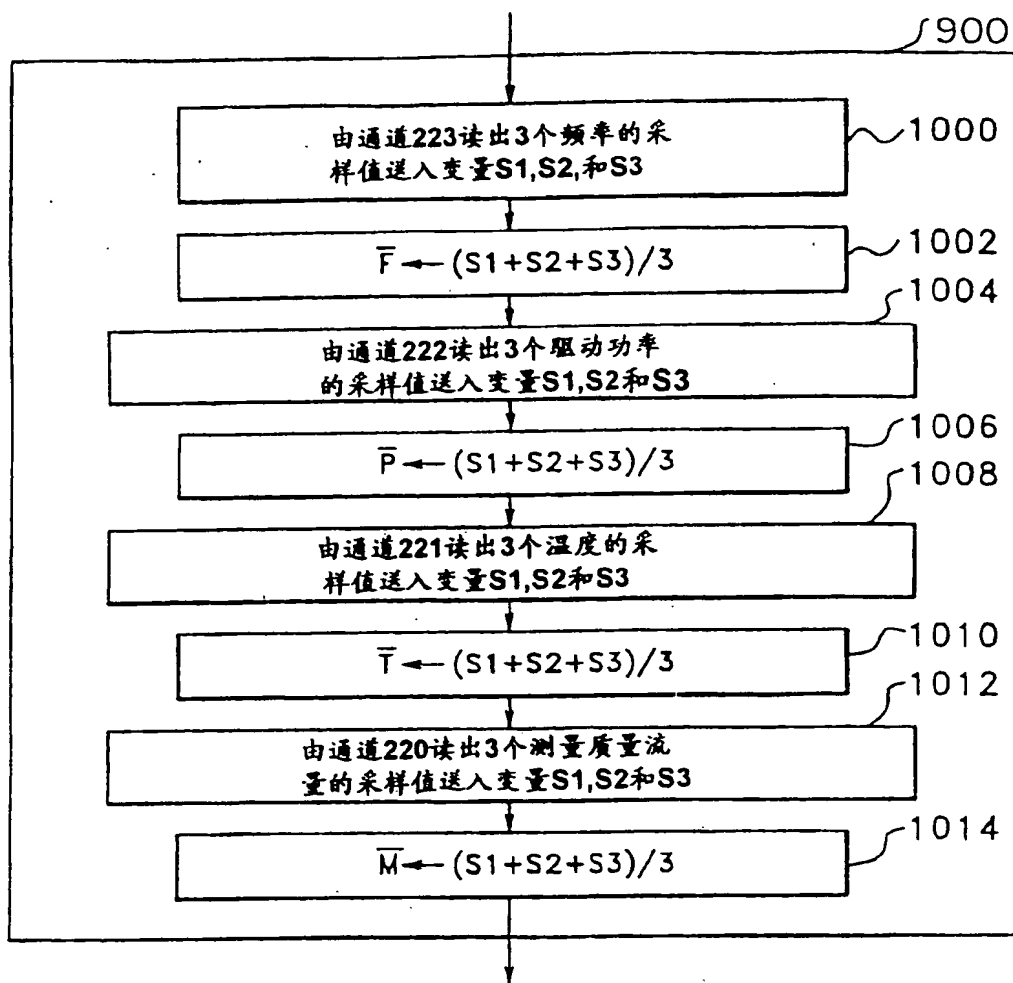


图 10

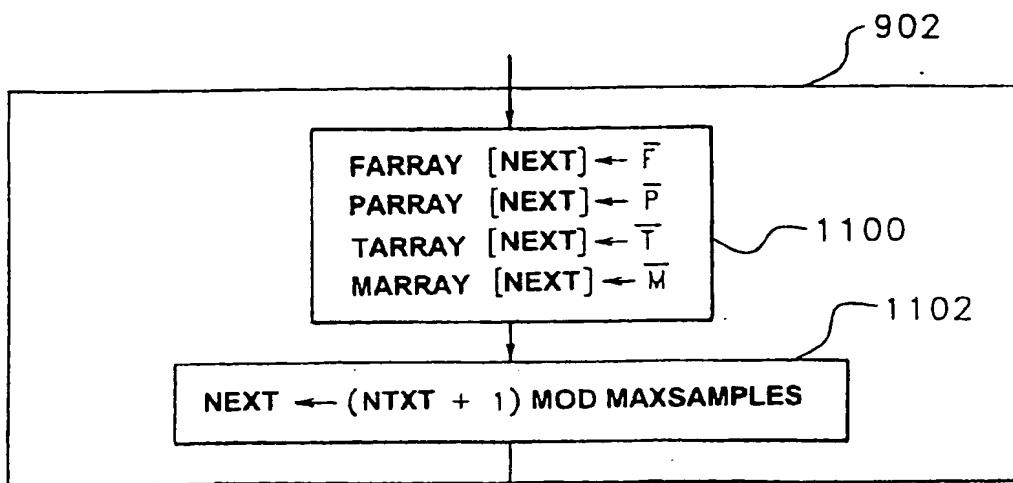


图 11

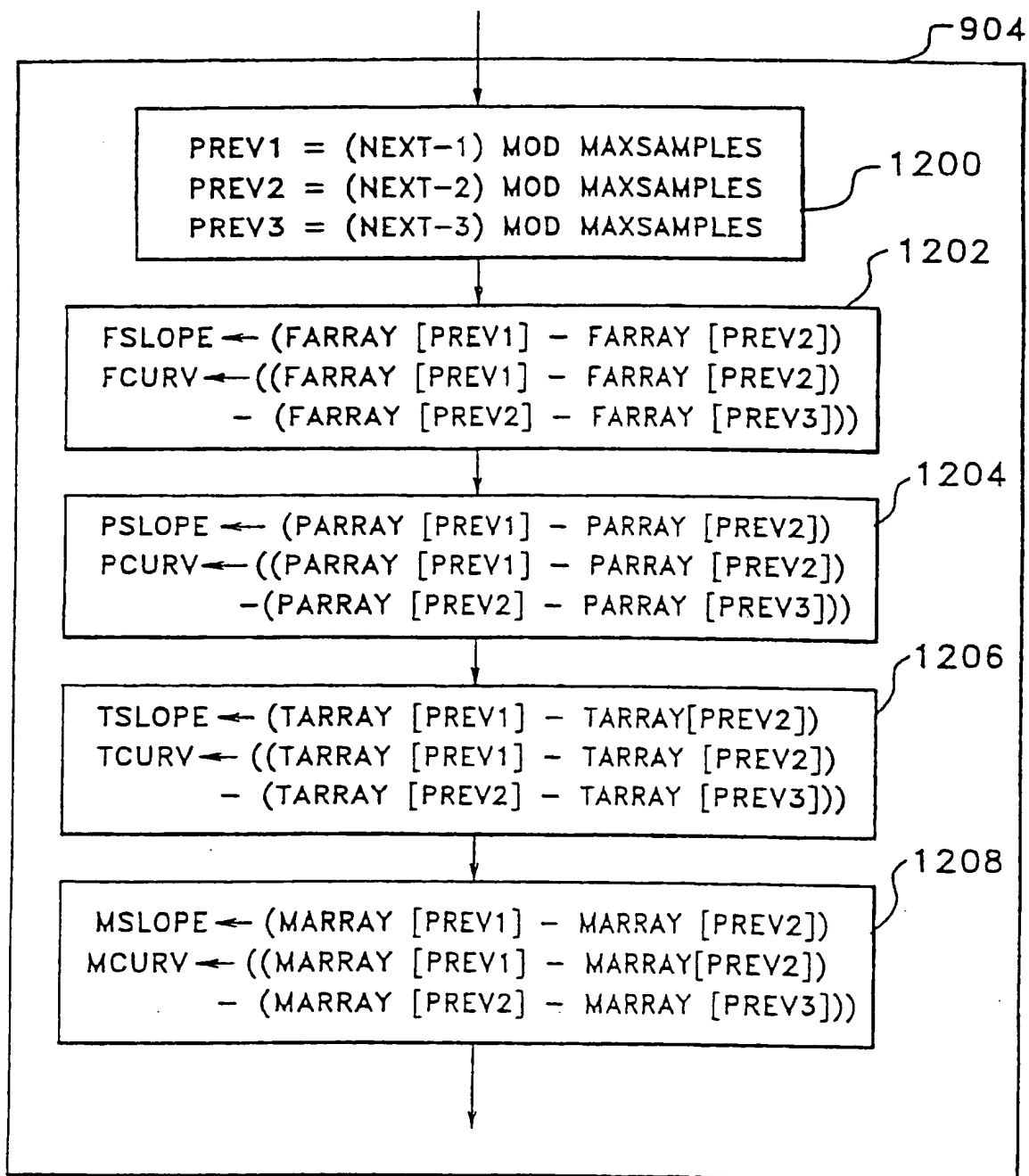


图 12

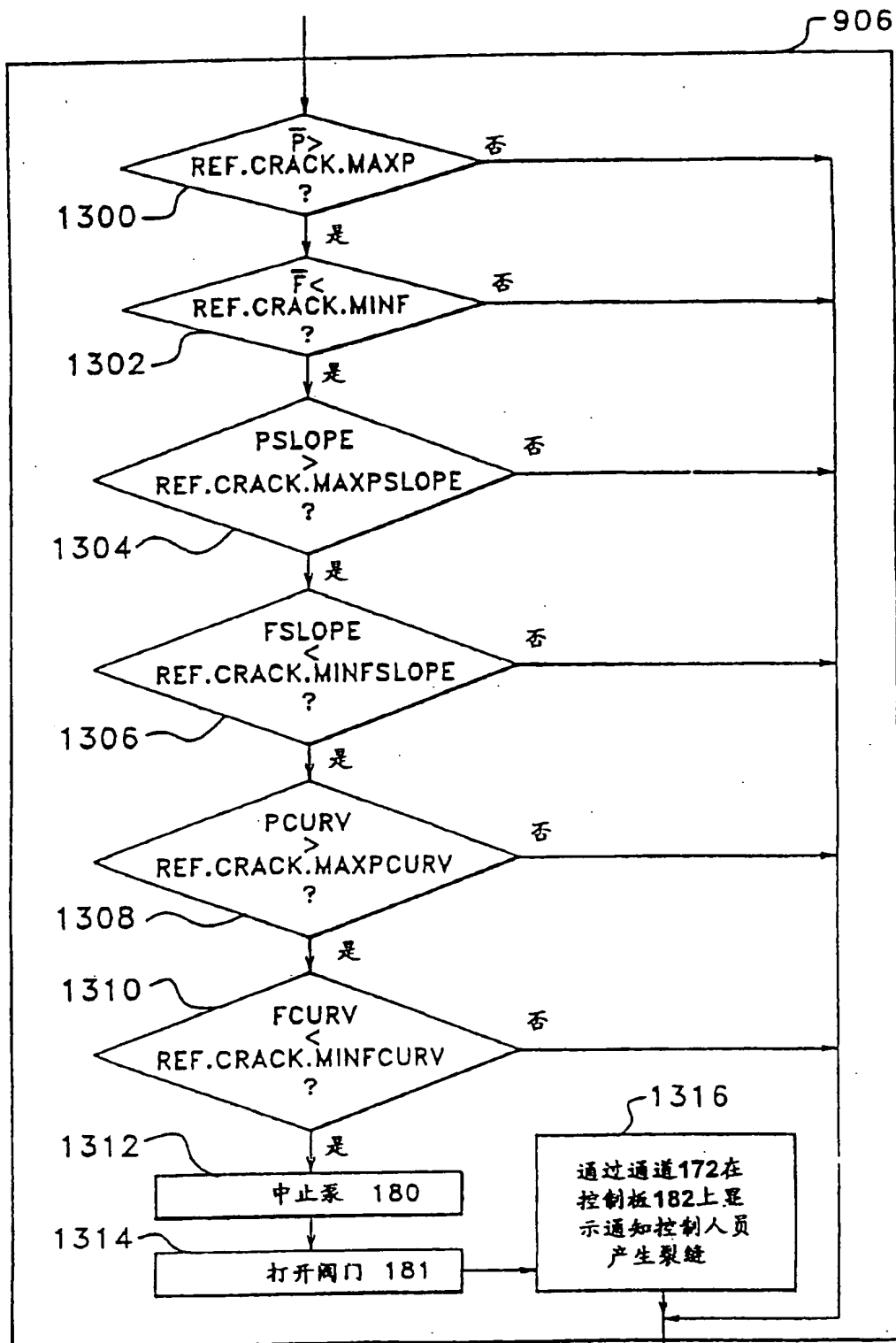


图 13



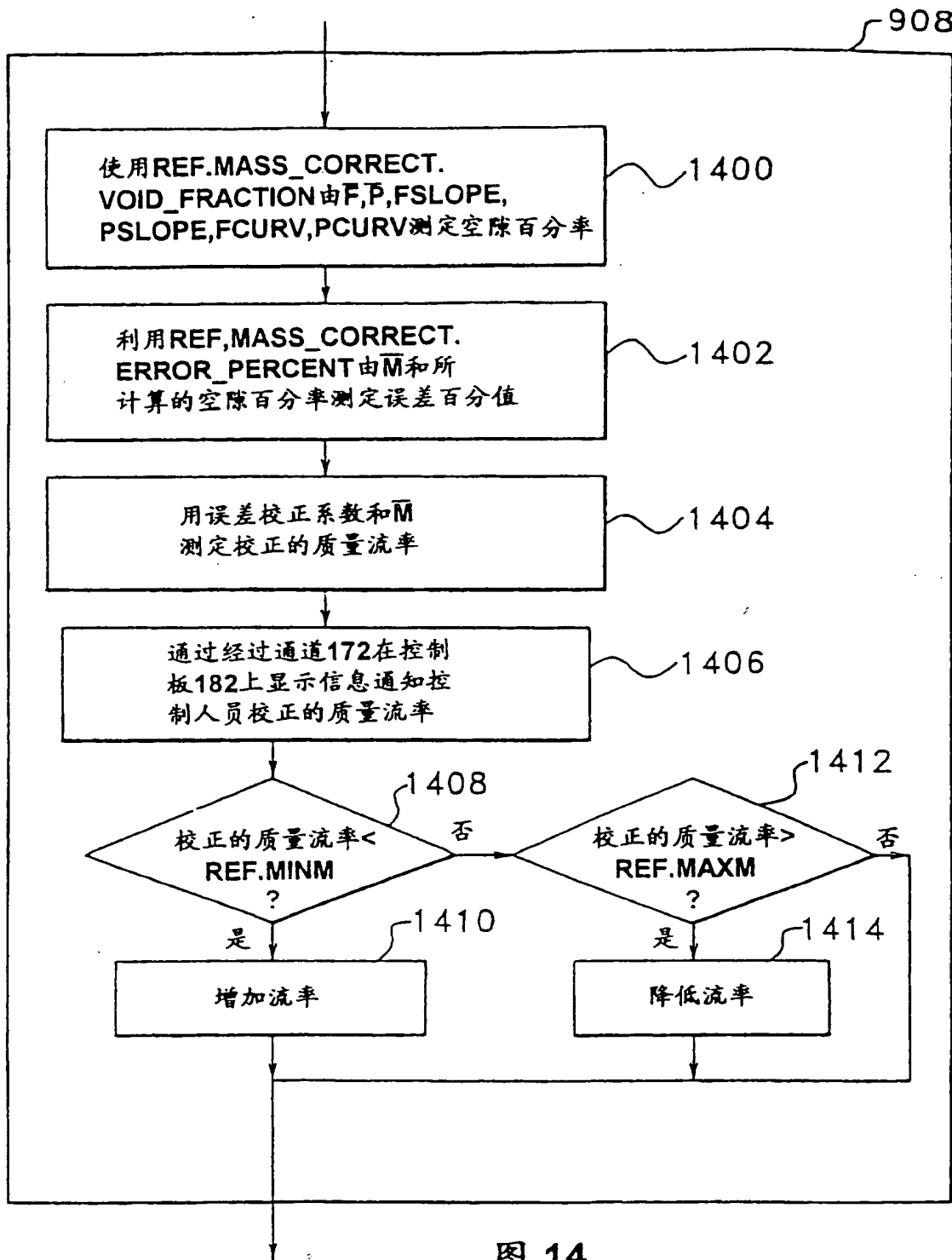


图 14

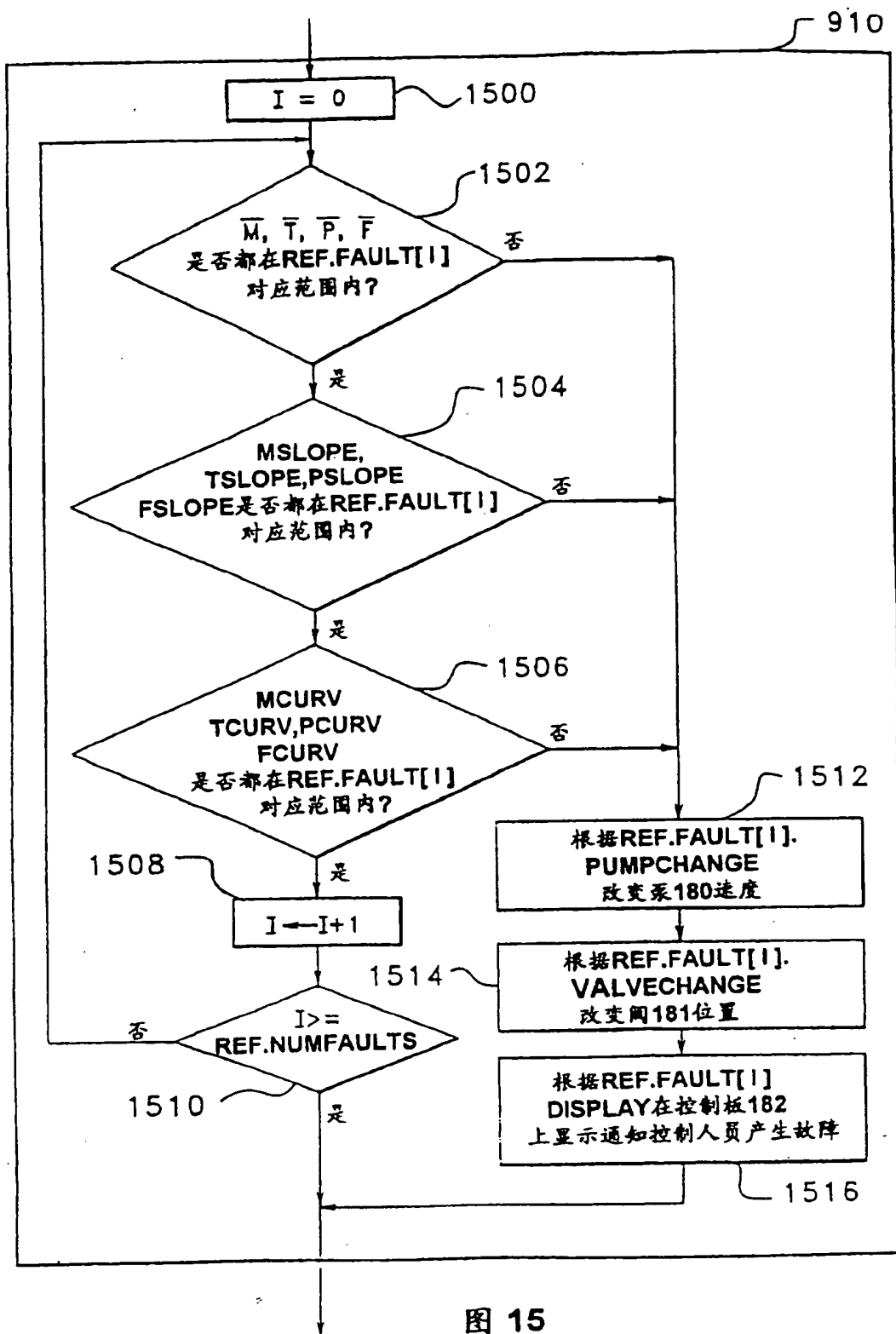


图 15